MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

“Proyecto básico para la estabilización del tramo de costa de Les Marines en el T.M. de Nules (Castellón)”

Junio de 2019

U.T.E. LES MARINES

UTE LES MARINES

1. ÍNDICE

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.

1.- Memoria

2.- Anejos.

2.1.- Anejo fotográfico.

2.2.- Anejo topobatimétrico

2.3.- Anejo de biocenosis.

2.4.- Clima marítimo.

2.5.- Propagación de oleaje.

2.6.- Dinámica litoral.

2.7.- Estudio de alternativas.

2.8.- Dimensionamiento de la solución.

2.9.- Efectos del cambio climático.

2.10- Estudio patrimonial.

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS.

1.- Situación y emplazamiento.

2.- Planta general.

3.- Sección tipo.

DOCUMENTO Nº 3: PRESUPUESTO.

1.- MEDICIONES.

2.- PRESUPUESTO.

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.

1.- Memoria

0. INTRODUCCIÓN

El municipio de Nules está situado en el extremo sur de la provincia de Castellón.

Presenta una disposición urbanística que es habitual en los pueblos de este litoral, con núcleo urbano principal alejado de la costa, mientras que en el borde costero se encuentra un pequeño núcleo periférico.

La evolución y el desarrollo económico del municipio ha modificado este patrón urbanístico, y la vocación turística de estos municipios costeros ha provocado la expansión del núcleo costero. Esta evolución urbanística ha incrementado la vulnerabilidad existente y los ya tradicionales problemas de erosión e inundabilidad costera de este municipio, dado que el uso y aprovechamiento futuro esperable de la playa es mucho mayor que el actual, y el valor de los elementos a proteger tras ella es alto.

Como consecuencia de las profundas modificaciones de origen humano que se han ido produciendo durante años en la línea costera entre Burriana y Sagunto (construcción de puertos y de obras de estabilización, ocupación de dominio público marítimo-terrestre, edificaciones y paseos marítimos), y debido a la dinámica litoral característica que, de forma natural tiene la costa, la zona de estudio se encuentra en proceso de regresión.

El litoral de la provincia de Castellón tiene una orientación de costa con respecto a los temporales dominantes, que hace que el transporte de sedimentos sea muy rápido en relación con otros tramos del litoral español.

Del mismo modo, las deficiencias en la cantidad de sedimentos en un punto determinado, por ejemplo por la menor aportación de un río, tiene una influencia que es detectable en un plazo de tiempo corto.

Estas dos causas, junto con otros efectos de menor magnitud, han producido el efecto sobre el litoral de la provincia de Castellón, de un cambio muy importante en su línea de costa.

Tal y como se puede apreciar en la imagen siguiente, correspondiente al año 2017, las playas se encuentran en una situación de desequilibrio estático, siendo la celda central la que más está sufriendo la erosión en su región sur. En amarillo se indica la que sería la línea de costa correspondiente a la forma en planta en equilibrio de acuerdo a las características fisiológicas, climáticas y litorales de las playas.

Figura 1. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Imagen Google Earth 2017.

1. ANTECEDENTES

1.1 DOCUMENTACIÓN BÁSICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO

Para la redacción del presente proyecto constructivo se ha contado con la siguiente documentación:

- Asistencia técnica para el estudio integral de alternativas de actuación en el tramo de costa entre el Puerto de Burriana y el Puerto de Sagunto. Elaborado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria para el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.
- Estudio de la dinámica litoral, defense y propuesta de mejora en las playas con problemas: estrategia de actuación del tramo comprendido entre el Puerto de Castllón y el Puerto de Sagunto. Redactado por el CEDEX en 2013 para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Estudio ecocartográfico del litoral de la provincial de Castellón. Redactado en 2010 por HIDTMA para el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.
- Estudio de caracterización ecológica del tramo de costa desde el Puerto de Castellón al Puerto de Sagunto.
- Estudio de la evolución del litoral costero en la Provincia de Castellón, del Servicio Provincial de Costas de Castellón.

1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD DE LA ACTUACIÓN

Bajo el contexto anterior, tras elaborar un diagnóstico del estado actual de la costa, se valoran las consecuencias a corto-medio plazo de no acometer ningún tipo de actuación (Alternativa 0).

Teniendo en consideración las elevadas tasas de regresión obtenidas, se concluye que **la costa no es sostenible en la situación actual**, siendo necesario llevar a cabo actuaciones que consistan en:

- Rigidizar este tramo con **estructuras costeras, para reducir la longitud de basculamiento de la orilla** y, por tanto, la magnitud de la regresión.
- **Regenerar la playa con aporte de sedimento, hasta alcanzar la anchura mínima de playa de diseño** en la posición de equilibrio dada por el FME estimado, asegurando un resguardo mínimo en condiciones de temporal.

Justificada la necesidad de actuación, los objetivos que se pretenden alcanzar con el desarrollo del presente proyecto son los siguientes:

- Asegurar una anchura mínima suficiente a lo largo de toda su longitud para el correcto desarrollo de la función lúdica de la playa.
- Recuperar la función de defensa de la playa, dotándola de una suficiente anchura mínima que permita disipar de forma efectiva la energía del oleaje durante la actuación de temporales.
- Preservar o, en su caso, mejorar la calidad del entorno ecológico y artístico-cultural de la zona.

1.3 DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

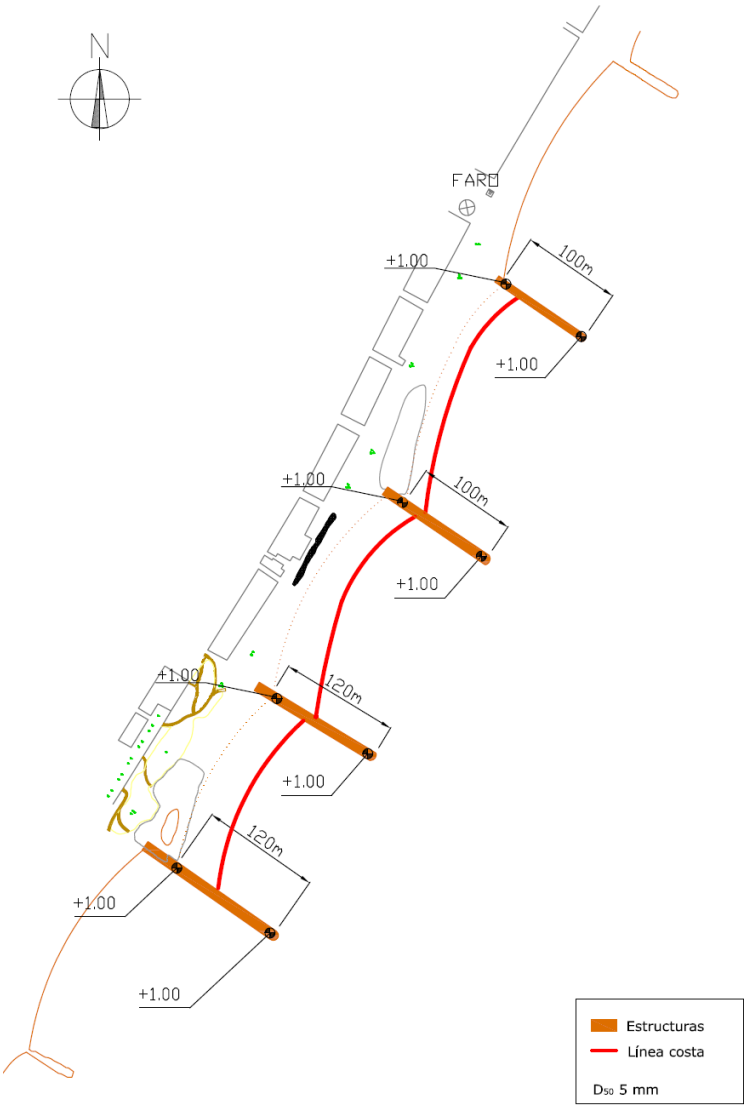
De la valoración realizada de las alternativas propuestas (las cuales se desarrollan exhaustivamente en el anejo 2.7) se concluye que la alternativa que mejor cumple los objetivos funcionales del proyecto y que, generando impactos ambientales y paisajísticos moderados, es, además, la que tiene uno de los menores costes económicos, es la **alternativa 8,** por lo que se elige esta alternativa como base de partida para la solución final.

La solución proyectada supone dos actuaciones fundamentales: por un lado, la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el nuevo material de aportación (grava fina de $D_{50} = 5\ mm$) y, por otro, la regeneración de las playas existentes en las celdas litorales.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

El material de aporte para la regeneración es grava fina, con $D_{50} = 5\ mm$.



Para profundizar en la justificación de la solución adoptada, consúltese el ANEJO Nº 7 : ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.

2. CONTENIDO DEL PROYECTO BÁSICO

2.1 TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA

Para la constitución del modelo digital del terreno necesario para llevar a cabo la propagación del oleaje desde aguas indefinidas hasta la costa, se superpone mediante el módulo de modelado del terreno del SMC la información batimétrica y cartográfica disponible de la zona de actuación, más otro estudio topobatimétrico realizado ex profeso para este trabajo y que se adjunta en el ANEXO 2..

A continuación se exponen las batimetrías empleadas, desde la más general, necesaria para la propagación desde aguas profundas, a la más detallada que enmarca la zona de estudio.

- Planos de topobatimetría en formatos GIS y AutoCAD de la zona de actuación de "Estudio ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón", realizados para la Dirección General de Costa, hasta una profundidad de la -40 m.

- Por otra parte se ha realizado una campaña exhaustiva de toma de datos batimétricos y topográficos que recoge con alta precisión cuál es la en el ámbito de nuestro proyecto y en las celdas colindantes al norte y al sur.

2.2 BIOCENOSIS

Se ha elaborado el estudio de biocenosis marinas asociadas al Proyecto de Estabilización del tramo de costa de Les Marines en el T.M. de Nules (Castellón).

El alcance de los trabajos incluye el cartografiado de las diferentes comunidades marinas. Para cumplir con los objetivos propuestos se ha realizado la cartografía bionómica mediante sonar de barrido lateral, obteniendo finalmente una cartografía bionómica de detalle de los fondos marinos de la zona de estudio. Este trabajo se adjunta en el ANEJO Nº 3 de la presente memoria.

La distribución de las comunidades bentónicas dentro de la zona de estudio presenta una primera zona litoral muy antropizada lo que da lugar a una escasa estructuración de las comunidades de substratos blandos del supra-, meso- e infralitoral superior. En esta misma

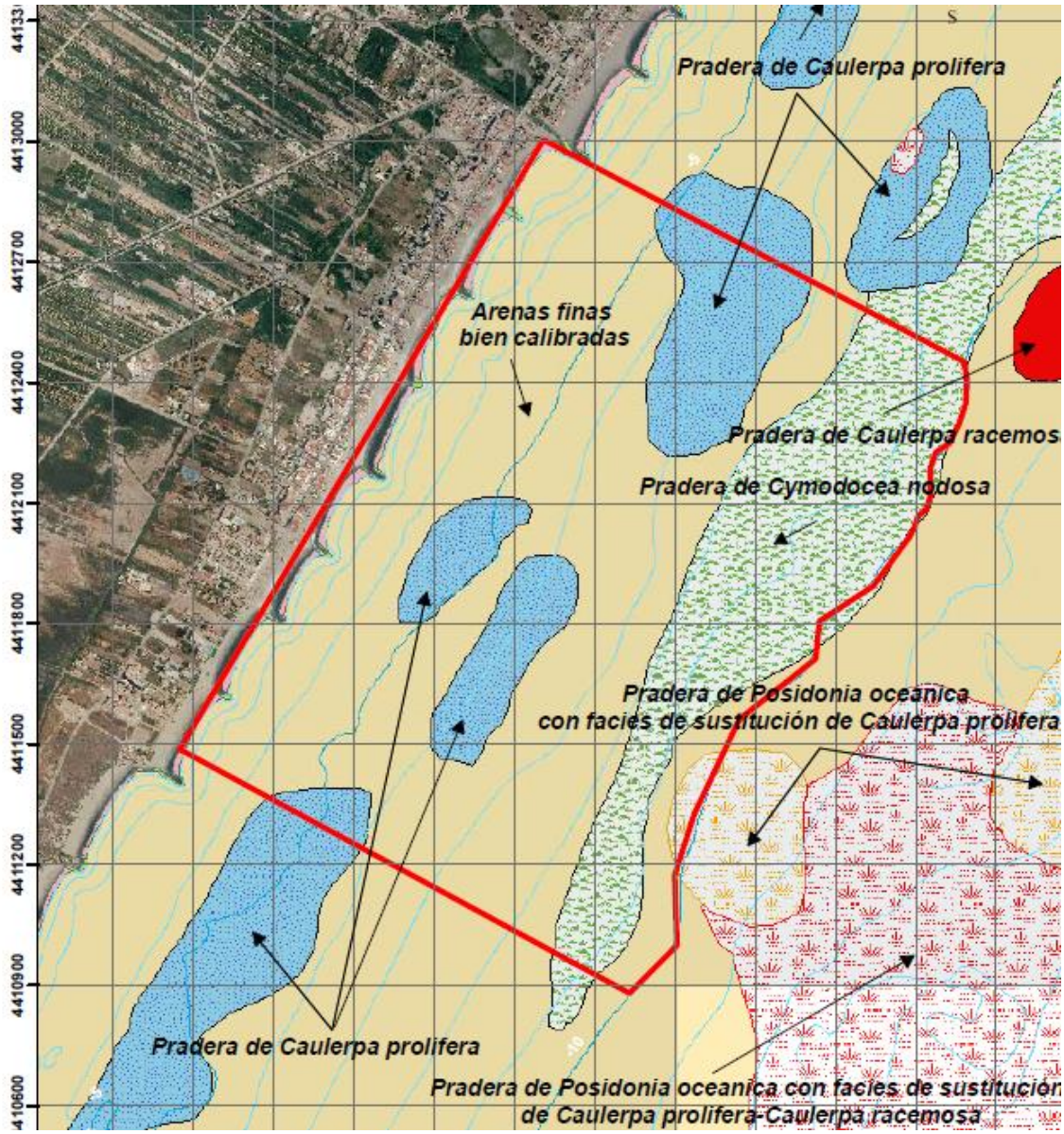
zona y sobre los substratos duros artificiales (espigones) se diferencia los poblamientos típicos de este tipo de enclaves, conformados por recubrimientos de escasa relevancia ecológica e indicadores de una calidad ambiental deficiente.

Por lo que respecta al resto de la zona de estudio, el entorno marino se caracteriza por un fondo netamente sedimentario en el que la biocenosis marina presente es la típica para este tipo de enclaves en el Mediterránero, es decir, la comunidad de las Arenas finas bien calibradas.

Sobre este fondo sedimentario se localizan dos tipos de recubrimiento vegetal: o Praderas de *Caulerpa prolifera*, que se localizan en varias áreas entre las batimétricas de -4m y -7m. o Pradera de la fanerógama marina *Cymodocea nodosa* la cual se extiende desde profundidades en torno a -8m, hasta el límite de la zona de estudio situado a -10m. Si bien su presencia es continúa dentro de esa zona, no conforma una pradera densa, sino que está estructurada como pradera muy clareada o semi-pradera.

Las zonas obtenidas a partir de la exploración realizada y, en particular, aquellas con recubrimiento de fanerógamas marinas son coincidentes con las representadas en la cartografía de referencia, es decir, en el Estudio Ecocatográfico de la provincia de Castellón realizado en 2010. Sigue presentado una similar extensión sin que de los trabajos realizados se haya podido obtener alteraciones significativas del cartografiado de las mismas.

En este caso, la única fanerógama marina identificada dentro de la zona de estudio ha sido *Cymodocea nodosa*, no habiéndose detectado la presencia de *Posidonia oceanica*, la cual conforme a la bibliografía consultada se localizaría a profundidades mayores de las cubiertas en el presente estudio.



2.3 CLIMATOLOGÍA

En el municipio de Nules el clima es de tipo Mediterráneo subtropical. Las lluvias se producen con bastante irregularidad, tanto a lo largo del año en que se dan dos mínimos estacionales, en primavera y otoño (siendo frecuentes en esta estación las trombas de agua que pueden producir riadas), como en períodos más largos de tiempo en los que alternan los años de sequía con algunos de mayor abundancia.

Una característica reseñable del clima mediterráneo es que en el período caluroso del año coincide con uno de los dos mínimos pluviométricos, lo que tiene como consecuencia la aridez.

Los vientos en la zona no son muy fuertes. Durante el otoño dominan los vientos flojos y variables. En invierno y primavera dominan los vientos de componente NE y E y los vientos, y el oleaje, crecen en intensidad y frecuencia. Destacar que es este período los procesos de transporte litoral y los procesos erosivos se hacen muy notorios. Durante el verano la intensidad de los vientos disminuye, aunque prevalecen los vientos de componente NE y E.

2.4 OLEAJE Y DINÁMICA LITORAL

2.4.1.- PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.

A medida que el oleaje se aproxima hacia la costa sufre una serie de fenómenos que llevan a su transformación, como son el asomeramiento, la refracción, la difracción o la rotura. Este último, en combinación con los gradientes de altura de ola y la incidencia oblicua del oleaje, producen corrientes costeras que transportan agua y sedimentos y que, de los distintos tipos de corrientes (marea, viento, etc.), son las más importantes en el desarrollo de la línea de costa.

Para el estudio del oleaje en la costa se ha llevado a cabo en el anejo nº 5 la reconstrucción del clima marítimo en la misma mediante la Técnica del Hipercubo, con máxima disimilitud que permite extraer el subconjunto de estados de mar más representativos en aguas profundas. Este subconjunto de estados de mar es propagado hasta una profundidad intermedia mediante el modelo numérico SWAN y posteriormente, desde ese punto, se realiza una segunda propagación del oleaje mediante el modelo numérico OLUCA-SP que reproduce los fenómenos de difracción. Finalizada la propagación de los casos representativos hasta los puntos de control situados a pie de playa, se reconstruye la serie de oleaje mediante técnicas de interpolación y se analiza para obtener la caracterización del clima marítimo.

A continuación se detallan los principales estadísticos y valores de diseño obtenidos tras la propagación de oleaje, detallados para cada punto de control y promediados también por secciones de la playa de estudio.

Punto	Prof [m]	Hs12 [m]	Hs12 promed [m]	Hsd [m]	Hsd promed [m]
P1	3	2.34	2.18	1.93	1.78
P2	3	2.25		1.70	
P3	3	2.36		1.97	
P4	3	2.19		1.67	
P5	3	1.89		1.76	
P6	3	2.10		1.67	
P7	3	2.15		1.75	
P8	4	2.34	2.33	2.22	2.20
P9	4	2.36		2.20	
P10	4	2.33		2.21	
P11	4	2.29		2.16	
P12	5	2.35	2.34	2.54	2.51
P13	5	2.36		2.52	
P14	5	2.34		2.48	
P15	5	2.32		2.50	

Tabla 1.-. Principales estadísticos en régimen escalar en los puntos de control a pie de playa.

La Figura 2 muestra los puntos de control y las secciones consideradas para la evaluación del valor promedio de los estadísticos.

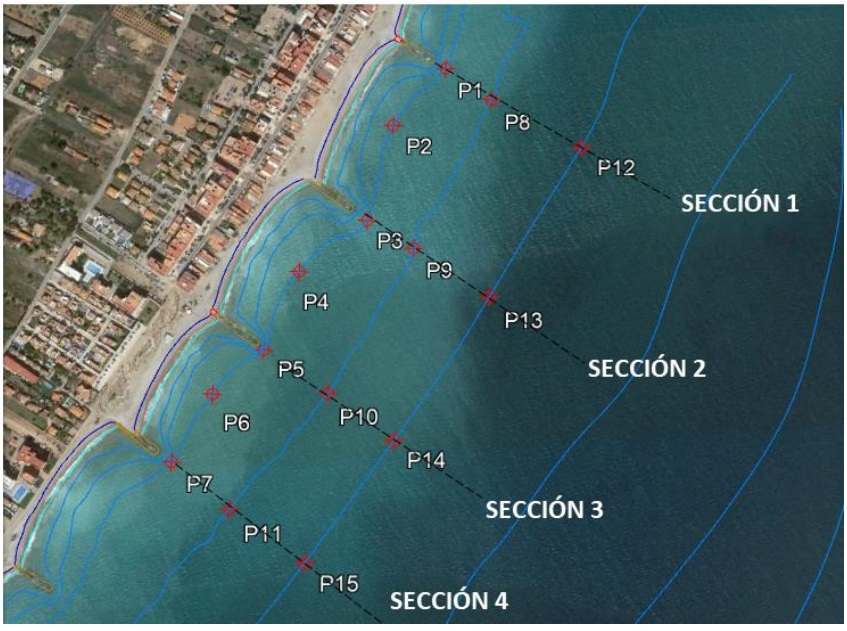


Figura 2. Localización de los puntos de control y secciones a pie de playa para valores representativos.

Sección	Puntos	Hs12 promedio	Hsd promedio
1	P1, P8, P12	2.34	2.23
2	P3, P9, P13	2.36	2.23
3	P5, P10, P14	2.18	2.15
4	P7, P11, P15	2.25	2.15

Tabla 2.-. Valores promedio por secciones de los principales estadísticos a pie de playa.

2.4.2.- DINÁMICA LITORAL.

La zona costera objeto actuación se localiza en la unidad morfodinámica natural de 1er orden denominada “Nules”, que comprende el frente costero limitado por el Delta del río Mijares, al Norte, y el Delta del Palencia al Sur. El Delta del Mijares constituye una barrera parcial natural al transporte sólido litoral, destacando como límite de subunidad por la importancia de sus aportes en la alimentación de las playas situadas a sotamar del delta.

Nuestra zona de estudio, la playa Les Marines se encuadra en el término municipal de Nules, dentro de la subunidad 2.1 Puerto de Burriana-playa de Casablanca (Almenara). Nules es la transición de un tramo totalmente rigidizado por un dique de escollera longitudinal y playas entre espigones, de tal forma que el tramo más norte goza de ambas protecciones.

A partir de los resultados obtenidos se pueden apuntar las siguientes conclusiones:

- El máximo ángulo entre la normal a la costa y la dirección del flujo medio de energía, θ_b, se produce en la celda correspondiente a PF2 (entre los nodos P3 y P5) con valor 15º6. Es en esta celda donde se produce el mayor desequilibrio de la línea de costa, con una tasa potencial de transporte de sedimento mayor. Por tanto, la celda sufrirá mayor erosión potencial, tal y como dejaban entrever las ortofotos presentadas en el estudio de la planta de equilibrio.

- La celda situada más al sur (correspondiente a PF3) presenta un ángulo $\theta_b$que supera al de la celda situada más al norte (correspondiente a PF1), pero sin embargo los menores valores de altura de ola que se presentan en ella ocasionan una tasa potencial de transporte menor, siendo ésta por tanto la que en menor medida sufriría la erosión.
- No obstante a lo anterior, y aunque resulta muy importante conocer el comportamiento dinámico de las celdas litorales, el valor de caudal de transporte no será decisivo para el estudio de alternativas, puesto que éstas se basarán en la rigidización de la playa y, por tanto, que el transporte sea nulo. Los condicionantes del estudio y dimensionamiento serán la orientación en equilibrio de la playa y el perfil de equilibrio según el material de aportación.

	Tasas de Transporte Potencial (m^3/año)		
D50 [mm]	PF1	PF2	PF3
0.20	83,666	102,536	75,568
0.35	47,809	58,592	43,182
0.37	**45,225**	**55,425**	**40,847**
0.50	33,467	41,015	30,227
1.00	16,733	20,507	15,114
2.00	8,367	10,254	7,557
2.38	**7,031**	**8,616**	**6,350**
3.00	5,578	6,836	5,038
4.00	4,183	5,127	3,778
5.00	**3,347**	**4,101**	**3,023**
10.00	1,673	2,051	1,511

Todo lo cual, puede encontrarse desarrollado en el anejo nº 6.

2.5 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

En el anejo 8 se encuentra el estudio de alternativas completo, el cual se ha realizado con los siguientes criterios técnicos:

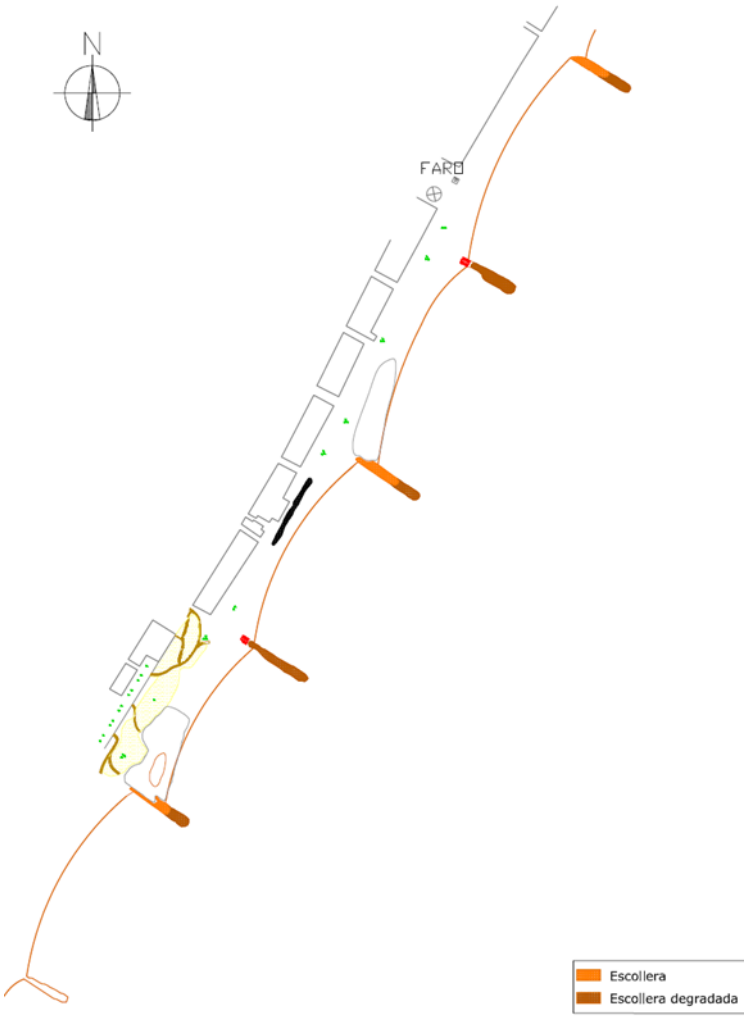
1. Vida útil de la obra, de acuerdo a ROM 1.0-09 (Fig. 2.2.33), para obras de regeneración y defensa de la costa es de 15 años y una $p_{f,ELU}$ = 0.2, lo que da un periodo de retorno T_R = 68 años.
2. El material de aportación será de tipo arena (D_{50} = 0.37 mm), o bien de tipo grava (D_{50} = 5 mm).
3. Anchura mínima de playa seca de 30 m y altura de berma final B=+3m.
4. Perfil de equilibrio de Dean para playa de arena (D_{50} = 0.36 mm) y grava D (D_{50} =5.0 mm)
5. Forma en planta de equilibrio, según Hsu y Evans y dirección de flujo medio obtenida

En este Estudio de alternativas se presentan 8 alternativas de solución y una Alternativa 0 de no actuación.

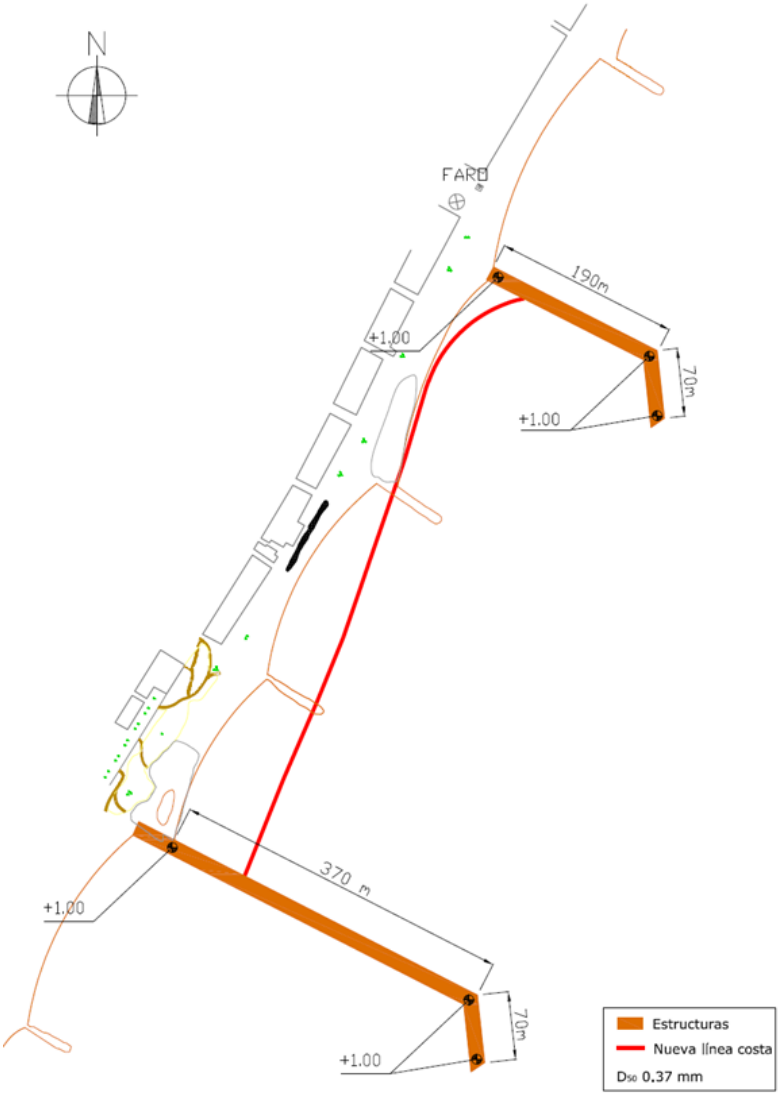
A continuación, se describen cada una de ellas.

La **alternativa 0** plantea la opción de no actuar dejando que la costa siga evolucionando según los parámetros de erosión actuales y el caudal de transporte estimado.

Esta opción queda descartada por no resultar sostenible, tal y como se argumenta en el apartado 1.2 del presente documento.

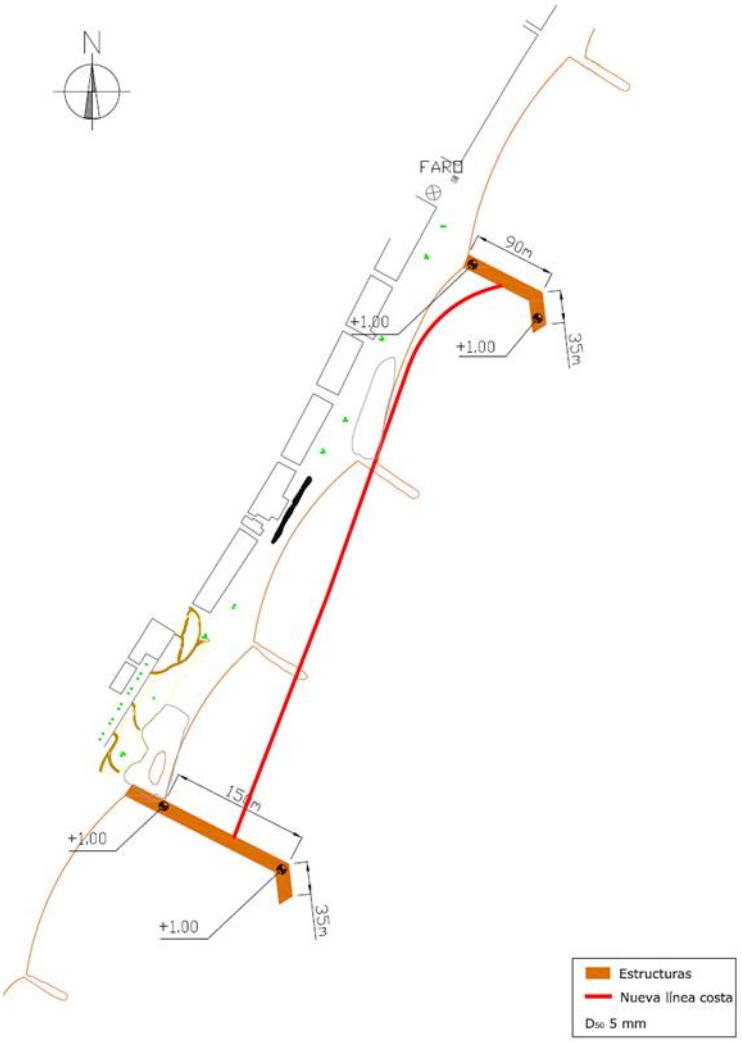

N
FARO
Escollera
Escollera degradada

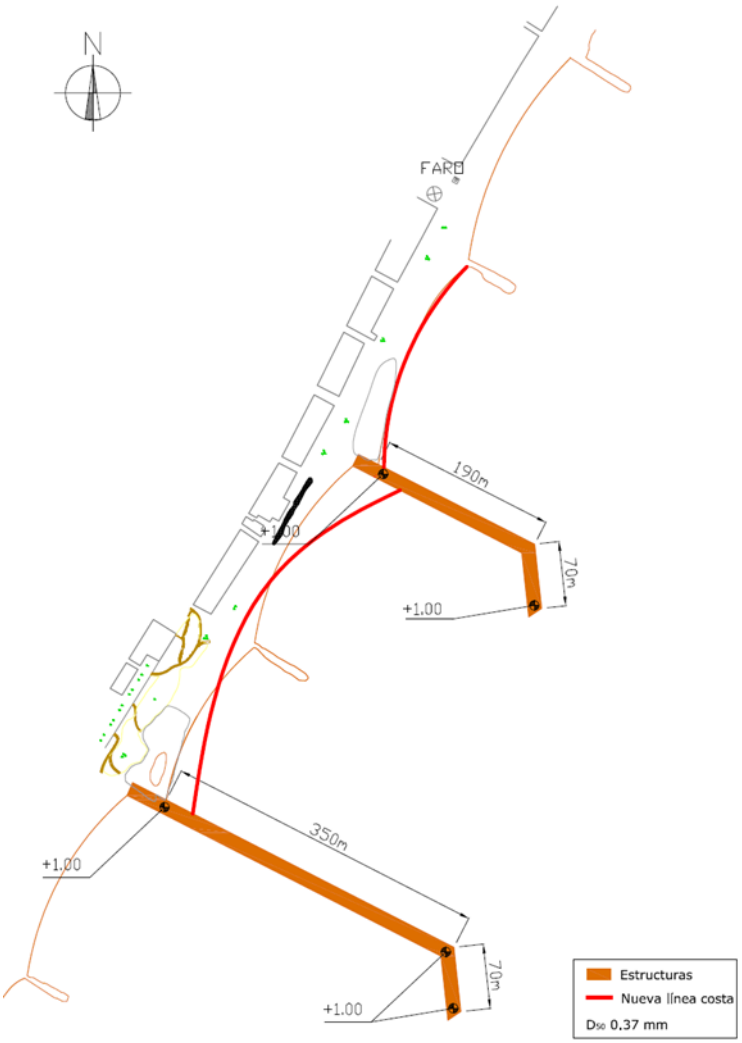
- **Alternativa 1:** Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las tres celdas litorales de la zona de actuación y que el material a aportar sea arena con D_50=0.37 mm. Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:
    - Espigón al norte de la zona de actuación, con longitud recta de 190 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.
    - Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 350 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.



-

- **Alternativa 2:** Esta alternativa implica la opción geométrica de agrupar las tres celdas litorales de la zona de actuación y que el material a aportar sea grava fina con D_50=5 mm. Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:
    - Espigón al norte de la zona de actuación, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
    - Espigón al sur de la zona de actuación, con longitud recta de 150 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.





- **Alternativa 3:** Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las dos celdas litorales situadas al sur de la zona de actuación y que el material a aportar sea arena con D_50=0.37 mm. En esta alternativa, al agrupar dos celdas litorales, se proyectan dos playas a regenerar: la creada entre las estructuras de nueva construcción (playa principal) y la que se apoya en la nueva estructura situada más al norte (playa secundaria).

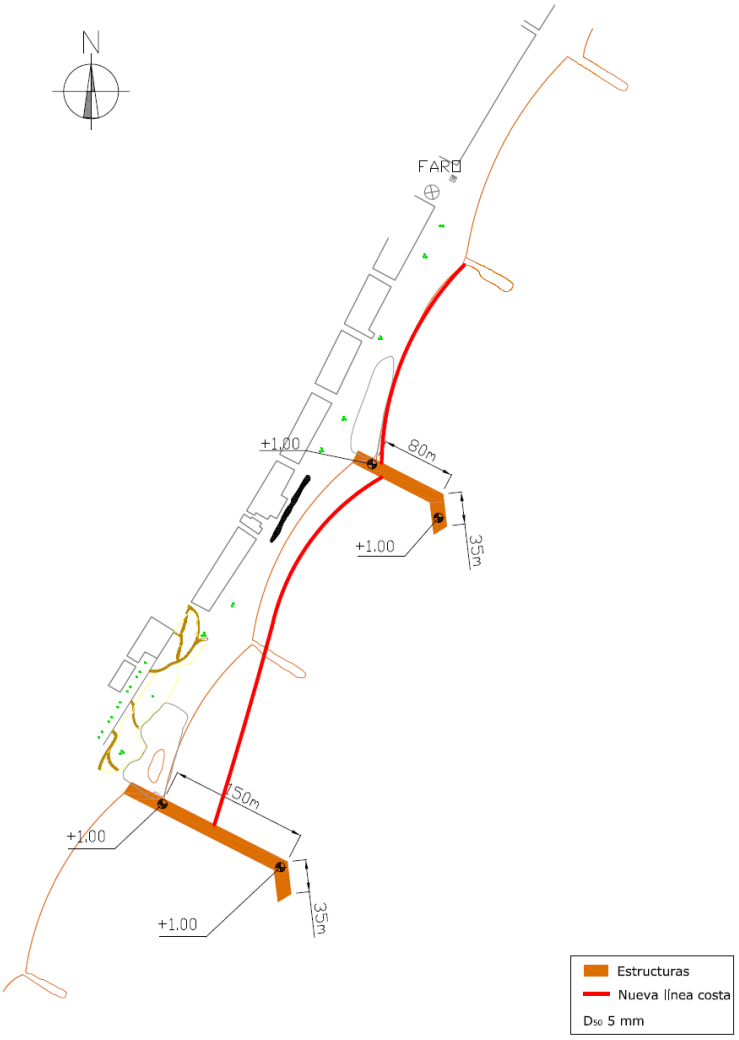
  Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

  - Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 190 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.
  - Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 350 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.

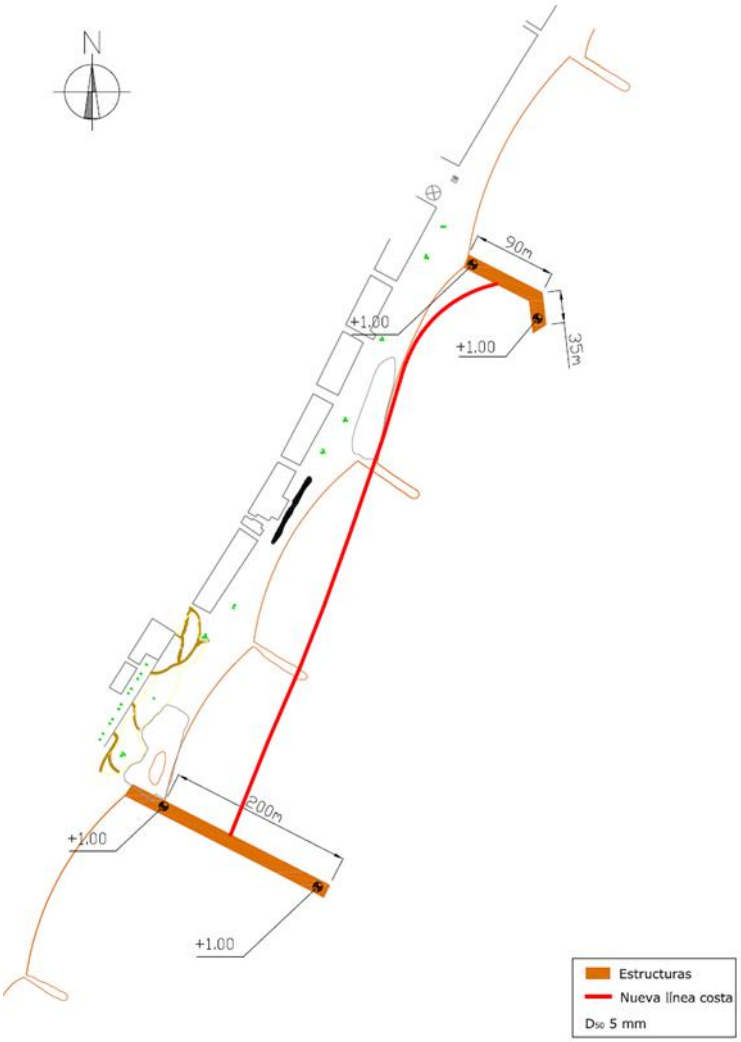
- **Alternativa 4:** Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las dos celdas litorales situadas al sur de la zona de actuación y que el material a aportar sea grava fina con D_50=5 mm. En esta alternativa, al agrupar dos celdas litorales, se proyectan dos playas a regenerar: la creada entre las estructuras de nueva construcción (playa principal) y la que se apoya en la nueva estructura situada más al norte (playa secundaria).

  Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

  - Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 80 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
  - Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 150 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.



- **Alternativa 5:** Esta alternativa es análoga a la alternativa 2, que agrupa las tres celdas litorales situadas y que mejora el material con grava fina con D_50=5 mm, pero con el espigón recto al sur de la actuación:
    - Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
    - Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.

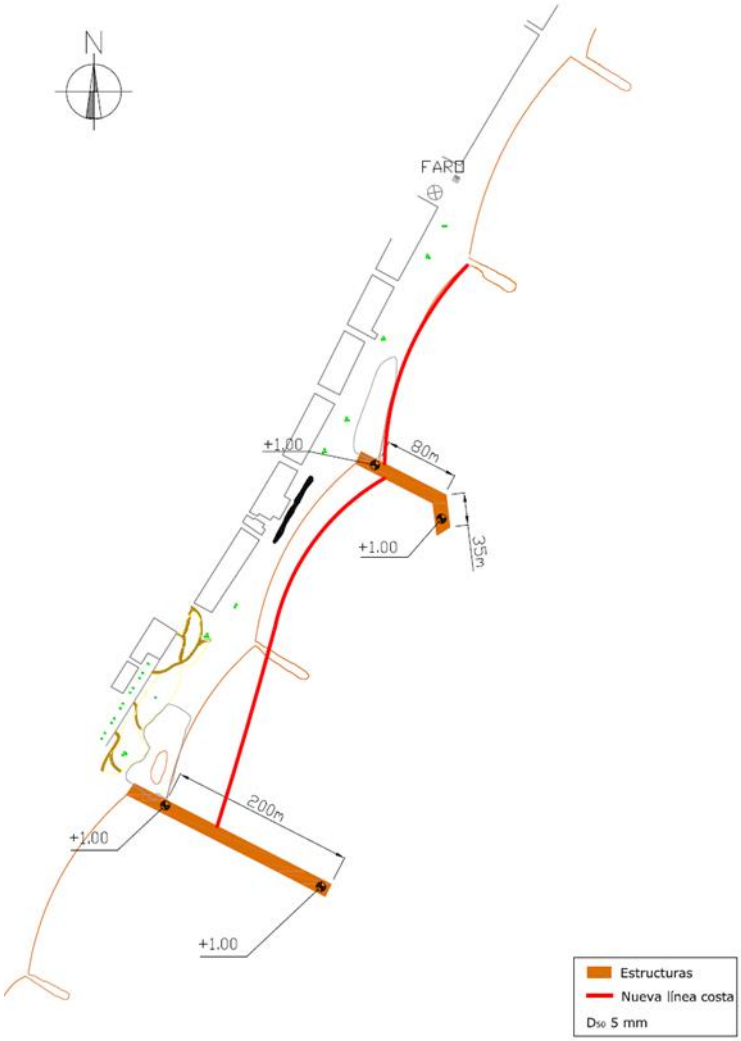


- **Alternativa 6:**

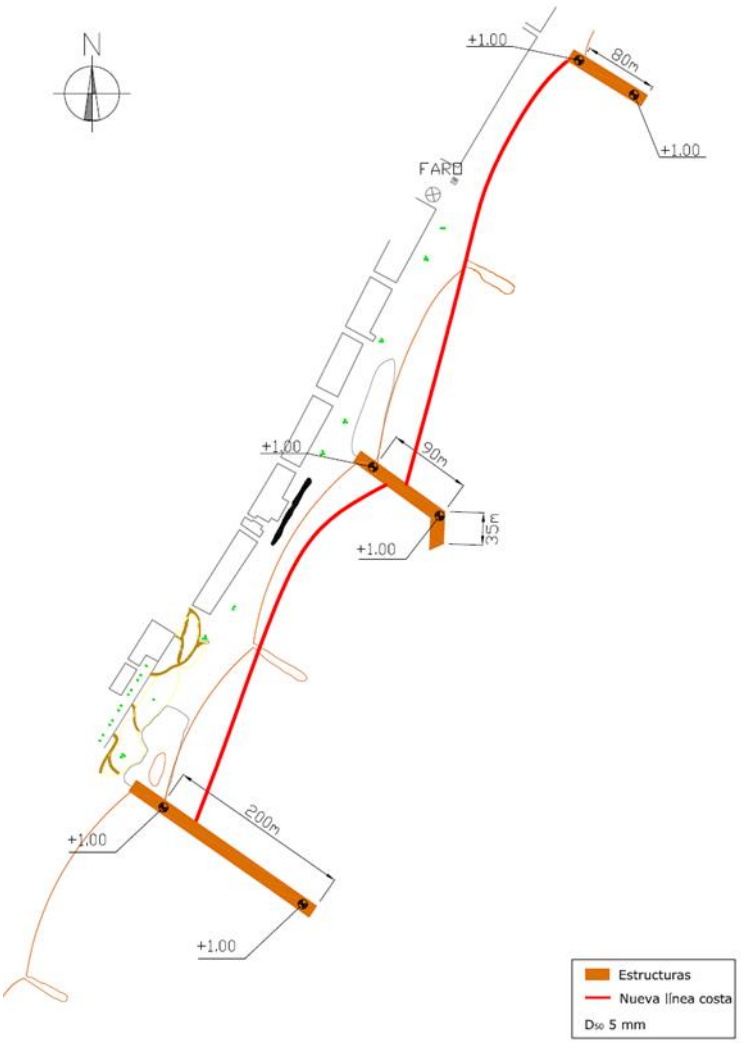
  Esta alternativa es análoga a la alternativa 4, que agrupa dos de las tres celdas litorales situadas y que mejora el material con grava fina con D_50=5 mm, pero con el espigón recto al sur de la actuación:

  Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:
    - Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 80 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.

- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.



- **Alternativa 7:** Esta alternativa supone una mejora a la alternativa 6 puesto que realiza dos agrupaciones de celdas cada dos, mejorando el material con grava fina con D_50=5 mm y prolongando también el espigón situado más al norte de la actuación.
  Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:
  - Prolongación del espigón existente al norte del Faro de Nules.
  - Espigón en el centro, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
  - Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.



- **Alternativa 8:** La alternativa 8 es la que menor modificación realiza sobre la situación actual. Supone la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el material de grava fina de D_50=5 mm y la regeneración de las playas existentes entre ellos. Se ha procurado ganar una superficie de playa análoga a la alternativa 7.

  Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

  - Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
  - Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
  - Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
  - Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

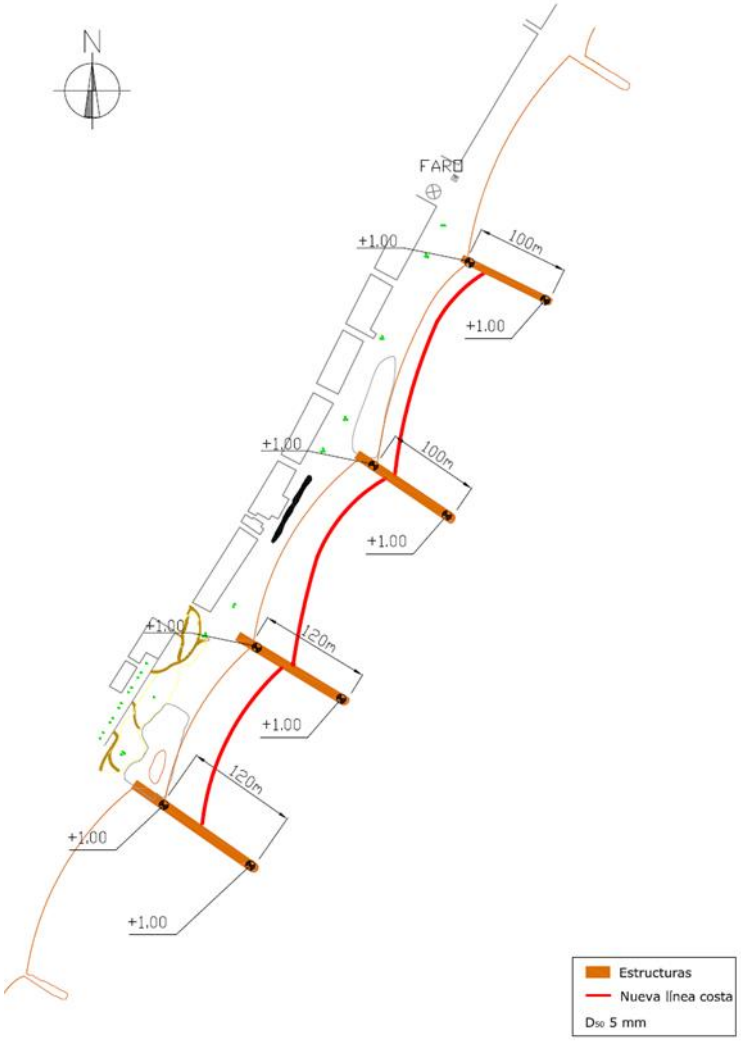


TABLA RESUMEN

A modo de resumen, se muestra la **valoración de las diferentes alternativas los cuatro criterios considerados** se han valorado de 0 a 5, siendo 0 nada valorado y 5 la máxima valoración, en relación al conjunto.

	Peso	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Funcional	**0.4**	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0
Ambiental	**0.2**	1.0	3.0	2.5	5.0	1.5	4.8	4.2	4.5
Estético	**0.2**	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2	5.0
Económico	**0.2**	1.0	3.0	2.0	5.0	3.5	4.8	4.0	4.5
TOTAL		2.4	3.2	2.9	4.4	3.4	4.3	4.3	4.8

2.6 DISEÑO DE LA PLAYA

Los siguientes puntos indican de forma resumida los parámetros que se tienen en cuenta para el diseño de la playa:

- El material de aportación será de tipo grava fina (D50 = 5 mm).
- La anchura mínima de playa es de 30 m.
- El perfil de equilibrio de la playa se obtiene a partir de la formulación de Dean con el parámetro correspondiente al tamaño de material D50=5 mm.
- La forma en planta de equilibrio de la playa se obtiene a partir de la formulación de Hsu y Evans y las características de dinámica litoral obtenidas (dirección de flujo medio y periodo característico).
- La cota de diseño de la berma de playa se establece en la +3,00 m, con la pendiente que resulte hasta la cota cero.

Tal y como se refleja en el Anejo Efectos del Cambio Climático, los valores estimados para el año horizonte correspondiente a un periodo de diseño de 68 años son:

- Incremento de la altura de ola significante media: ΔHs,media = -1,9 cm
- Incremento de la altura de ola significante asociada a 12 h/año: ΔH_s12=-42.9 cm
- Incremento de la dirección media del flujo de energía del oleaje: $\Delta\Theta$FE= +0,608 °
- Incremento del nivel medio del mar: $\Delta\eta$= +11,4 cm

Estos valores han sido obtenidos a partir de tendencias estimadas que recoge el proyecto Cambio Climático en la Costa Española' (C3E) realizado por la Universidad de Cantabria.

Por tanto, se modifican los parámetros que se obtuvieron del estudio de clima marítimo y de dinámica litoral realizado y que se recogen en los anejos correspondientes, viéndose incrementados con las cantidades anteriores y quedando como indica la siguiente tabla. Las playas se han nombrado del 1 al 3 comenzando por la situada más al norte.

	FME [º]	FME	Hs12 (m)
Playa 1	108.	S73E	2.22
Playa 2	109.2	S70.8E	2.22
Playa 3	110	S70E	2.22

DIMENSIONAMIENTO DE LA PLAYA

En este proyecto constructivo que nos ocupa, la estimación de la forma en planta de equilibrio de la playa se obtiene a partir del ajuste de parábolas de Hsu y Evans que surgen de considerar la difracción del oleaje en los extremos de las estructuras que se proyectan. Las parábolas resultantes son tangentes en su desarrollo recto que se ajusta para garantizar una anchura mínima de 30 m, referida a las edificaciones que limitan la playa en las cuatro celdas de actuación.

Aplicando dicho procedimiento y haciendo uso de los resultados obtenidos en el estudio de dinámica litoral, se obtienen los valores determinantes en el ajuste de la planta de equilibrio de las playas a regenerar en cada una de las celdas litorales. Las playas se han nombrado del 1 al 3 comenzando por la situada más al norte..

La tabla siguiente recoge las coordenadas (x,y) obtenidas respecto a la línea de costa actual.

x	y
0.00	0.00
5.00	-0.89
10.00	-1.41
15.00	-1.85
20.00	-2.24
25.00	-2.60
30.00	-2.93
35.00	-3.25
40.00	-3.55
45.00	-3.84
50.00	-4.12
55.00	-4.40
60.00	-4.66
65.00	-4.91
70.00	-5.16
75.00	-5.40

x	y
80.00	-5.64
85.00	-5.87
90.00	-6.10

Tabla 3.-. Puntos (x,y) del perfil teórico de Dean para grava fina de diámetro 5 mm.

Este perfil teórico es el proyectado a partir de la nueva línea de costa, pero el perfil final de la playa será el resultante de avanzar a partir del perfil de playa actual hasta que el ancho de playa ganado se corresponda con el ancho de playa a ganar (mínimo 30 m), y que para cada celda litoral será diferente (véase plano correspondiente).

En la figura adjunta se muestra el perfil teórico y la línea de profundidad de cierre, hasta el cual sería válido este perfil de Dean.

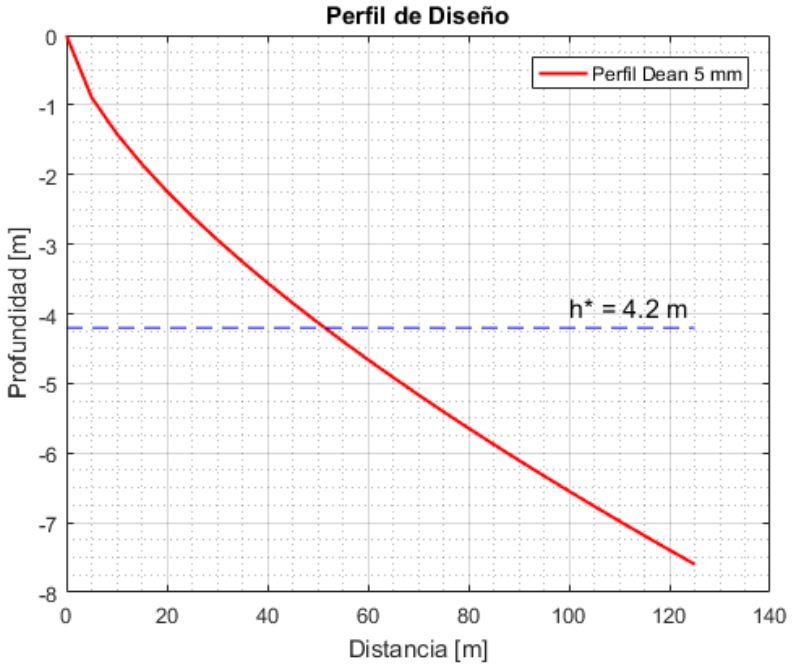
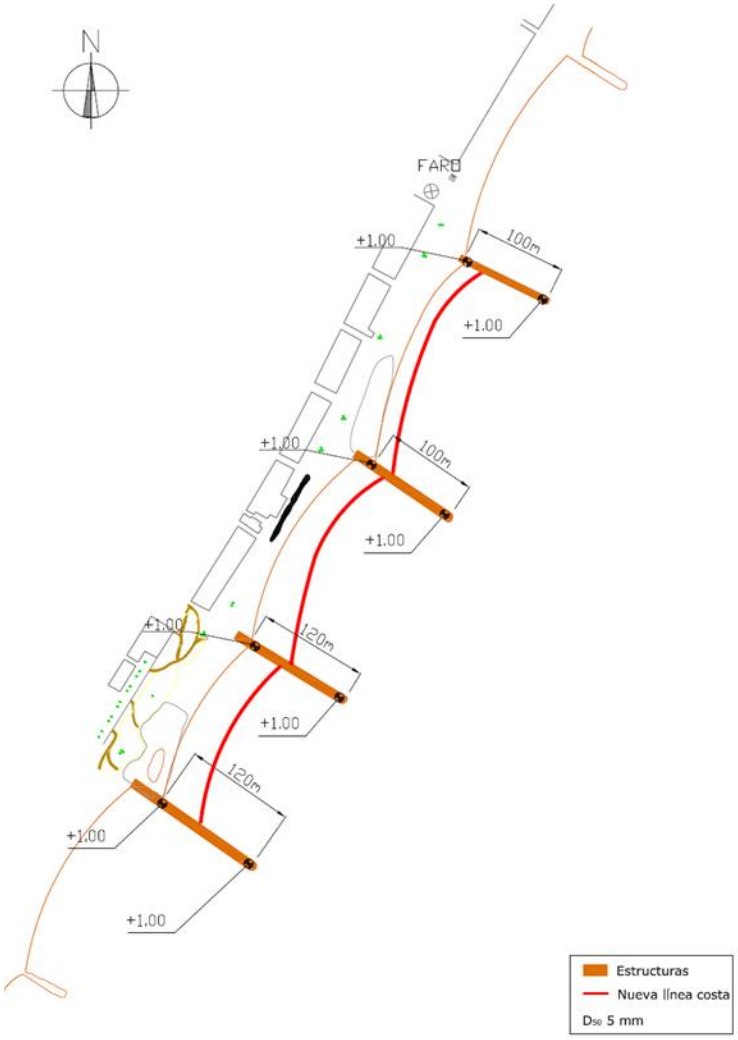


Figura 3. Perfil de diseño de la playa (Dean para diámetro 5 mm).

La cota de la berma de la playa seca se toma a +3.00 m.



2.7 DISEÑO DE LAS OBRAS DE PROTECCIÓN

La longitud de los espigones debe ser suficiente para contener el perfil del relleno de la playa y alcanzar la profundidad a partir de la cual no se esperan movimientos significativos de sedimento (h* = 4.4 m).

Numerando de norte a sur los espigones:

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.

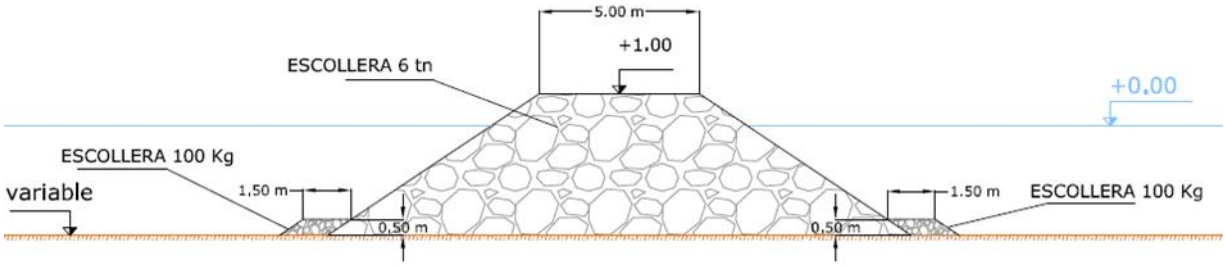
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

En los cuatro espigones el ancho en coronación se establece en 5 m, con una cota de +1.00 m.

Se obtiene un peso de la escollera del manto bicapa de W50 = 4.17 t, que por aproximación superior y del lado de la seguridad se fija en escollera para el manto de entre 5 t y 6 t.

Los espigones se proyectan con 5 m de anchura en coronación, talud uniforme 1,5H:1V y cota de coronación a la +1,00 m.

La sección tipo del dique resultante de aplicar la formulación de Vidal et al., para la condición de Iniciación de Avería y en el caso de marea más desfavorable, está formada por manto compuesto por dos capas de escollera de 5 a 6 t



2.8 ASPECTOS AMBIENTALES

Los aspectos ambientales relativos al presente proyecto constructivo se han tenido en cuenta íntegramente en el Estudio de Impacto Ambiental.

2.8.1. ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

La Red Natura 2000 es la mayor apuesta en materia de conservación realizada por la Unión Europea: Natura 2000 surge ante la necesidad de proteger los recursos naturales de Europa ante la constante pérdida de biodiversidad creando una red de espacios representativos de la diversidad de hábitats y de especies europeas.

Red Natura 2000 se desarrolla a partir de la aplicación de dos directivas europeas: la Directiva de Aves (79/409/CEE) y la Directiva Hábitats (92/43/CEE) traspuesta al ordenamiento jurídico español por el R.D 1997/45. Está constituida por:

- **Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA):** se comienzan a definir y establecer a partir de la Directiva Aves. Esta Directiva, de obligado cumplimiento en todos los Estados miembros de la Unión Europea, reclama la necesidad de conservar y gestionar adecuadamente las poblaciones de aves silvestres, especialmente aquellas especies consideradas como prioritarias en Europa.
- **Zonas de Especial Conservación (ZEC)** de cada Estado miembro de la Unión Europea. Son designadas por la Comisión Europea a partir de una propuesta de **Lugares de Interés Comunitario (LIC)** elaborados por los Estados miembros a partir de los criterios establecidos en la Directiva Hábitats (poseer especies animales o vegetales amenazados o representativos de un determinado ecosistema). En España, esta propuesta ha sido elaborada por las Comunidades Autónomas que redactaron su lista en el ámbito geográfico correspondiente, y la trasladaron al Ministerio de Medio Ambiente, el cual remitió el conjunto de estas listas a la Comisión Europea para su aprobación.

Tendremos en cuenta dos LICs pertenecientes a la Red Natura 2000 que se describen a continuación:

EL LIC ES5222007 ALGUERS DE BORRIANA-NULES-MONCOFA.

Comprende un área marina que se extiende aproximadamente entre el sur del Port de Borriana y el frente litoral de Almenara. La existencia de praderas de Cymodocea y Posidonia de extensión variable en la costa situada entre las playas de Nules y Xilxes se situa a una profundidad entre -10 y -20 m.

Nuestra actuación alcanza tan solo profundidades de -3, quedando muy lejos de la posible zona de afección de la Posidonia y la Cymodocea.

EL LIC ES5223005 MARJAL DE NULES

DECRETO 127/2015, de 31 de julio, del Consell, por el que se declaran como zonas especiales de conservación (ZEC) los lugares de importancia comunitaria (LIC) Lavajos de Sinarcas, Marjal de Nules y Marjal dels Moros, y se aprueban las normas de gestión para dichos LIC y para la

Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) Marjal dels Moros. [2015/6980]DOCV (Diario Oficial de la Comunidad Valenciana) nº 7586 de 5/08/2015. http://www.docv.gva.es/datos/2015/08/05/pdf/2015_6980.pdf

Zona húmeda litoral profundamente alterada, a pesar de lo cual conserva pequeñas áreas inundadas con vegetación típicamente palustre. Destacan las especies: Emys orbicularis, Mauremys leprosa y charadrius alexandrinus.

La Marjal de Nules no alcanza el litoral.

En lo relativo a la fauna, **está confirmada la nidificación del Chorlitejo patinegro (Charadrius alexandrinus)** incluida en en Catálogo Valenciano de Especies de Fauna Amenazadas en la categoría Vulnerable en el listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y en el Anexo I de la Directiva de Aves. Su reproducción está confirmada en diferentes puntos de la playa de Les Marines.

Otra especie amenazada de flora presente en la zona es **Ammochloa palaestina**, incluida en el anexo II (especies protegidas no catalogadas) de la orden 6/2013 de 25 de marzo de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se modifican los listados valencianos de especies protegidas de flora y fauna.

Respecto a las poblaciones de **algodonosa (*Otanthus maritimus*)**:

Catálogo Valenciano de Especies de Flora Amenazadas

· Anexo III. Especies Vigiladas

Es una pequeña mata perenne con numerosas tallos subterráneos horizontales de los que van saliendo tallos verticales de hasta 40cm. Los tallos y las hojas estan cubiertas por una pilositad que le da un color casi blanco. Tiene hojas erectas, oblongas enteras. Las inflorescencias forman una especie de falso paraguas. Fruto ovoide de hasta 4mm, curvado y glanduloso a la base.

La solución elegida (ALT 8) NO contempla acciones de relleno de gravas ni arenas, ni en la zona de nidificación del Chorlitejo patinegro.

No se realizará movimiento de maquinaria para la ejecución de las obras por el ámbito de nidificación tal y como se especifica en el apartado de medidas correctoras y preventivas, puesto que los itinerarios de tránsito de la maquinaria de construcción están previstos fuera del citado ámbito.

En ausencia de vertidos de relleno y evitando la circulación por la zona de nidificación del chorlitejo patinegro, no deben suponerse afecciones directas al mismo.

Además, los cambios en la dinámica litoral previsto con la construcción de los espigones no provocarán regresiones de la línea de costa.

2.8.2. IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Para la caracterización y valoración de los impactos se han tenido en consideración los criterios establecidos en la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, incorporando a los mismos la categoría de impacto positivo en caso necesario.

IMPACTO COMPATIBLE: Aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad, y no precisa medidas preventivas o correctoras.

IMPACTO MODERADO: Aquel cuya recuperación no precisa medidas preventivas o correctoras intensivas, y en el que la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere cierto tiempo.

IMPACTO SEVERO: Aquel en el que la recuperación de las condiciones del medio exige medidas preventivas o correctoras, y en el que, aun con esas medidas, aquella recuperación precisa un período de tiempo dilatado.

IMPACTO CRÍTICO: Aquel cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

IMPACTO	VALORACIÓN IMPACTO (fase obra)	VALORACIÓN IMPACTO (fase explotación)
ATMÓSFERA		
Emisión de gases de combusitón de los motores	COMPATIBLE	MODERADO
Resuspensión de partículas de polvo	COMPATIBLE	MODERADO
Ruido	COMPATIBLE	MODERADO
GEOLOGÍA-GEOMORFOLOGÍA		
Modelado superficial o marino	MODERADO	MODERADO
Modificación de la naturaleza del terreno (granulometría, textura, ocupación del suelo, etc.)	MODERADO	MODERADO
HIDROLOGÍA Y DINÁMICA LITORAL		
Alteración de la calidad física del agua (turbidez)	MODERADO	NULO
Afección a la calidad química	COMPATIBLE	NULO
Modificación del perfil y forma en planta de la playa	SEVERO	SEVERO
Modificación de la hidrodinámica y transporte de sedimentos	COMPATIBLE	NULO

BIOCENOSIS TERRESTRE Y MARINA		
Bentos	MODERADO	NULO
Creación de nuevos hábitats	SEVERO	NULO
ZONAS PROTEGIDAS		
Afección a espacios naturales protegidos	MODERADO	MODERADO
PAISAJE		
Mejora de la calidad estética de las playas	SEVERO	SEVERO
Barreras visuales.	NULO	NULO
MEDIO SOCIOECONÓMICO		
Mejora imagen turística	SEVERO	SEVERO
Creación de puestos de trabajo	MODERADO	MODERADO
PATRIMONIO CULTURAL		
Yacimientos arqueológicos	NULO	NULO

2.8.3 PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS Y PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

MEDIDAS PROTECTORAS

Una vez identificados y valorados los impactos, se recogen a continuación las medidas más adecuadas para minimizar los efectos de la actividad.

El objetivo de dichas medidas consiste en:

Explotar en mayor medida las oportunidades que brinda el medio en aras al mejor logro ambiental del proyecto o actividad.

Anular, atenuar, evitar, corregir o compensar los efectos negativos que las acciones derivadas del proyecto producen sobre el medio ambiente, en el entorno de aquéllas.

Incrementar, mejorar y potenciar los efectos positivos que pudieran existir.

Algunas medidas preventivas serían las siguientes:

Medida protectora	1
Definición de la medida	**Control de las emisiones sonoras**
Efecto que previene	Incremento de niveles sonoros a causa de: Operaciones de carga y descarga. Movimiento de maquinaria y personal de la obra.
Objetivo	Minimizar las molestias a personas y fauna
Eficacia	Media
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	En la programación temporal y económica del proyecto es necesario incluir los siguientes criterios: Para las operaciones de carga y descarga: Vertido de arena, gravas, escombros, etc desde alturas lo más bajas posibles. Programación de actividades de obra de forma que se eviten situaciones en que la acción conjunta de varios equipos o acciones cause niveles sonoros elevados durante periodos prolongados de tiempo y/o durante la noche. Para los movimientos de maquinaria y personal de obra Comprobar al inicio de la obra que la maquinaria de obras públicas ha pasado las inspecciones técnicas. Informar a los operarios de las medidas a tomar para minimizar las emisiones. Los conductores de vehículos y maquinaria de obra adecuarán, en lo posible, la velocidad de los vehículos. Comunicar a los chóferes que eviten, en la medida de lo posible, circular por el casco urbano.
Responsable de llevarla a	Empresa constructora

cabo	
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental
Necesidad de mantenimiento	Una buena organización la limita a: Información y concienciación del personal empleado. Cumplimiento de los periodos de revisión de los equipos utilizados.
Costes de ejecución	La adopción de esta medida no debe presentar un coste adicional, tan solo un trabajo más organizado y un mayor esfuerzo en el control de la obra.

Medida protectora	2
Definición de la medida	**Control de las emisiones de partículas a la atmósfera**
Efecto que previene	Incremento de la contaminación atmosférica en la zona a causa de: Operaciones de carga y descarga. Movimiento de maquinaria y personal de la obra.
Objetivo	Evitar el empeoramiento de la calidad del aire de la zona.
Eficacia	Alta.
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	En la programación temporal y económica del proyecto es necesario incluir los siguientes criterios: Para las operaciones de carga y descarga: Vertido de arena, gravas, escombros, etc desde alturas lo más bajas posibles. Para los movimientos de maquinaria y personal de obra Exigir a los transportistas el uso de lonas para cubrir el material transportado.
Responsable de llevarla a cabo	Empresa constructora
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental

Necesidad de mantenimiento	Una buena organización la limita a: Información y concienciación del personal empleado. Cumplimiento de los periodos de revisión de los equipos utilizados.
Costes de ejecución	La adopción de esta medida no debe presentar un coste adicional, tan solo un trabajo más organizado y un mayor esfuerzo en el control de la obra.

Medida protectora	3
Definición de la medida	**Emplear un modo operativo adecuado y cuidadoso con el medio.**
Efecto que previene	Impacto por enterramiento y por dispersión del sedimento en la columna de agua, durante las operaciones de construcción de los diques y las aportaciones de material a las playas.
Objetivo	Reducir lo máximo posible el área de impacto.
Eficacia	alta
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	En la programación temporal y económica del proyecto es necesario incluir los siguientes criterios: Durante la construcción de los espigones. Evitar la actuación en días de fuerte oleaje y viento. Emplear en lo posible materiales y métodos que faciliten su integración en el paisaje. Durante la aportación de material granular a la playa. Evitar la actuación en días de fuerte oleaje y viento. Aportar materiales que garanticen la compatibilidad con el material existente en la playa.

Responsable de llevarla a cabo	Empresa constructora
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental
Necesidad de mantenimiento	No es necesario
Costes de ejecución	La adopción de esta medida no debe presentar un coste adicional, tan solo un trabajo más organizado y un mayor esfuerzo en el control de la obra.

Medida protectora	4
Definición de la medida	**Momento adecuado para la realización de las obras.**
Efecto que previene	Interferencias en la nidificación del chorlitejo patinegro. Pérdida de atractivo turístico para la playa
Objetivo	Realización de las obras en la playa fuera de la temporada de nidificación del chorlitejo patinegro. Realización de las obras fuera de la temporada turística.
Eficacia	Alta.
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	Dado que el chorlitejo patinegro es un ave protegida que nidifica en la playa de Casablanca, es de vital importancia que las obras no se lleven a cabo durante los meses de nidificación.

	Debido a que durante la época estival es cuando el número de bañistas es mayor, se recomienda llevar la ejecución de las obras fuera de este periodo de tiempo. En este mismo sentido, es en los meses de verano cuando se da un mayor disfrute de la costa debido a actividades recreativas. Ejecución de las obras entre los meses de septiembre a febrero.
Responsable de llevarla a cabo	Empresa constructora
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental
Necesidad de mantenimiento	Una buena organización la limita a: Información y concienciación del personal empleado.
Costes de ejecución	Ceñirse a horarios y programas de ejecución de actividades en la obra.
Medida protectora	5
Definición de la medida	**Sistema de protección de aguas**
Efecto que previene	Impacto sobre las unidades ambientales marinas y la fauna y flora asociadas a ella debido a la deposición de sólidos en suspensión movilizados en la construcción de los diques, y en la aportación de materiales, arenas y gravas. Impacto sobre la calidad físico-química del agua.
Objetivo	Protección de la calidad de las aguas marinas ante la

	aparición de elevadas concentraciones de sólidos en suspensión, contención de turbidez.
Eficacia	Alta.
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	Los sistemas de protección de aguas se utilizarán en caso de excederse los límites de partículas en suspensión. Cortinas antiturbidez: Se trata de unos faldones fabricados con geotextil de polipropileno, que permiten el traspaso de una cierta cantidad de agua al tiempo que actúan contra sedimentos y áridos a la deriva. Generalmente se montan sobre barreras de contención de vertidos. Lavado del material de aporte de origen.
Responsable de llevarla a cabo	Empresa constructora
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental
Necesidad de mantenimiento	Las propias de estos equipos.

Medida protectora	6
Definición de la medida	**Sistema de protección de los espacios naturales protegidos.**
Efecto que previene	Afección a los espacios naturales protegidos
Objetivo	Evitar afección a las especies protegidas
Eficacia	Alta.
Descripción de la medida/aspectos que comprende.	Censo y seguimiento periódico de las poblaciones de Otanthus maritimus y Silene cambessedesii. Recolección periódica de semillas de Otanthus maritimus y Silene cambessedesii y depósito en banco de germoplasma. Muestreo fitosociológico periódico de las unidades de vegetación prioritarias. Recorrido de la maquinaria de construcción por un trazado prefijado que evita totalmente el tránsito por la zona de nidificación del Chorlitejo patinegro y de las especies vegetales protegidas.
Responsable de llevarla a cabo	Empresa constructora. Responsable/s de la gestión de los espacios naturales protegidos
Responsable de su seguimiento y control	Promotor
Momento y documento en que se incluye	Plan de Vigilancia Ambiental

Necesidad de mantenimiento	no

La eficacia de estas medidas, será considerada como:

Alta: cuando una vez aplicadas para reducir los impactos generados por el desarrollo de la obra, éstos se ven disminuidos fácilmente con la ejecución de una serie de directrices que se plantean desde la oficina de obras.

Media: cuando las medidas para reducir los impactos en la zona de actividad y zonas colindantes pueden aplicarse sin entrañar muchas dificultades, no obstante los resultados obtenidos no alcanzan siempre los objetivos propuestos.

Baja: cuando las acciones propuestas logran disminuir el impacto, pero lo reducen a los niveles máximos permitidos por la legislación.

PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

INFORMES Y ESTUDIOS PREVIOS.

Con objeto de poder prever con antelación los posibles efectos adversos asociados a la actuación objeto del presente proyecto constructivo de estabilización del frente litoral en las playas de La Llosa y Almenara (Castellón), y de posibilitar la comparación de las situaciones antes y después de la actuación (metodología Before-After Control Impact, BACI), se hace necesario llevar a cabo una serie de estudios de manera previa a la ejecución de la obra.

Algunos de estos estudios serán necesarios también para poder determinar la tipología y los procedimientos constructivos adecuados a la zona en estudio.

En todo caso, el alcance y el grado de detalle de los estudios propuestos deberán definirse de manera acorde a la vulnerabilidad del medio en el que se realizarán los trabajos:

YA SE HA REALIZADO un ESTUDIO BIONÓMICO de las praderas de *Posidonia Oceánica*, *Cymodocea Nodosa*, tal y como se puede ver en el apartado correspondiente del de impacto ambiental.

YA SE HA CARTOGRAFIADO el estado topo-batimétrico INICIAL de la zona de las obras, y se adjunta dicha batimetría en el apartado correspondiente del EIA.

SE DEBE PROSPECTAR el ámbito terrestre de la actuación, con carácter previo a su inicio, para verificar que no existen NIDOS de AVIFAUNA o FLORA protegida que pueda verse afectada, lo que será realizado por personal especializado.

SE DEBEN TOMAR DATOS con carácter pre-operacional, para establecer los NIVELES DE FONDO naturales (sólidos en suspensión, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, metales, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a y comunidades fitoplanctónicas)

SE DEBE ELABORAR un manual de buenas prácticas ambientales y difundirlo entre el personal de la obra (gestión de residuos, actuaciones prohibidas, practicas de conducción, realización de un diario ambiental de la obra, responsabilidad del técnico de medio ambiente).

DURANTE LA FASE DE CONSTRUCCIÓN.

MEDIDA PROTECTORA: CONTROL DE EMISIONES SONORAS.

- Indicador: ruido de la maquinaria y movimientos de la obra
- Umbral de alerta: aparición de “incomodidad acústica” entre 55 y 65 dB.
- Umbral inadmisible: superar los 80 dB establecidos por la O.M.S.
- Calendario de campañas de comprobación: la toma de muestras se realizará con un sonómetro, una vez a la semana y en el tramo horario en el que se produzca un mayor movimiento de maquinaria.
- Puntos de comprobación: lugares cercanos al tránsito de camiones y zonas de descarga del material transportado y en las inmediaciones de la urbanización.
- Requerimientos del personal encargado: técnico de medio ambiente.
- Medidas de urgencia: disminuir la velocidad de los vehículos y no concentrar las actividades en las mismas horas.

MEDIDA PROTECTORA: CONTROL DE LAS EMISIONES DE LAS PARTÍCULAS A LA ATMÓSFERA

- Indicador: presencia de nubes de polvo en la obra.
- Umbral de alerta: cuando a simple vista puede apreciarse en el aire una ligera turbación causada por partículas en suspensión procedentes de la obra.

- Umbral inadmisible: en el momento en que la concentración de partículas sea tan elevada como para que entrañe problemas respiratorios (ICA: Índice de Calidad en el Aire).
- Acción a seguir: mojar los caminos de acceso a la obra para evitar la resuspensión de partículas a la atmósfera. Cubrir con lona los camiones que transporten tierras.

MEDIDA CORRECTORA: MODO OPERATIVO CUIDADOSO CON EL MEDIO.

CONTROLAR de la gestión de residuos, con instalación de papeleras y contenedores de reciclaje.

DOCUMENTAR los resultados de los CONTROLES sobre el desarrollo de las obras y la aplicación de las distintas medidas preventivas y correctoras planteadas, con las posibles incidencias con repercusión ambiental que se hayan generado, señalando la eficacia de las medidas correctoras. La documentación se formalizará mediante INFORMES MENSUALES realizados por el Vigilante Ambiental y supervisados por el Director.

SEÑALIZAR, mediante carteles anunciadores de las obras, el cumplimiento de la totalidad del programa de vigilancia medioambiental.

CARACTERIZAR el material de aporte a la línea de costa. Con carácter previo a su aportación, se llevará a cabo una caracterización del material, al objeto de comprobar que no presenta contaminación y cumple con las especificaciones establecidas en el Pliego de Prescripciones Técnicas del proyecto.

COMPROBAR, al finalizar las obras, el estado de los caminos utilizados por la maquinaria y camiones de la obra, para lo que el proyecto dispondrá de una partida alzada suficiente para su reposición y reparación en el caso que se considere necesario.

MEDIDA CORRECTORA: MOMENTO ADECUADO PARA LA REALIZACIÓN DE LAS OBRAS.

Las obras se realizarán entre los meses de septiembre a febrero.

MEDIDA CORRECTORA: PROTECCIÓN DE AGUAS.

Indicador: presencia en las aguas de sólidos en suspensión provenientes de las obras.
Umbral de alerta: cuando la turbidez en el agua puede medirse entre los valores de 5-10 NUT´s (Unidades Nefelométricas).
Umbral inadmisible: cuando en el agua existe una turbidez mayor de 10 NUT´s.
Calendario de campañas de comprobación: una vez cada dos semanas durante los meses que dure la obra.
Puntos de comprobación: se propone muestrear a lo largo de una serie de transectos perpendiculares a la costa, desde la orilla hasta la pradera de Posidonia (ésta incluida), en los que se realizarán mediciones en superficie, media profundidad y cercanías del fondo. Además, se colocarán trampas de sedimento en las proximidades de comunidades biológicas significativas a fin de controlar la tasa de sedimentación y el nivel de enterramiento que éstas pueden sufrir.
Tras la finalización de las obras se volverán a controlar en el agua los siguientes parámetros: sólidos en suspensión, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, hidrocarburos, metales, nitrógeno total, fósforo total, clorofila y comunidades fitoplanctónicas.

Requerimientos del personal encargado: técnico en medio ambiente.
Medidas de urgencia: desplegar la cortina antiturbidez y esperar a que las condiciones hidrodinámicas se recuperen.

MEDIDA CORRECTORA: PROTECCIÓN DE LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS

Establecer un calendario de obra definitivo y adaptado a los requerimientos biológicos de los espacios naturales protegidos y de mayor uso de la playa.

Comprobar y MANTENER un balizamiento y señalización adecuado de las distintas zonas de obra con el fin de que la maquinaria de construcción circule por las zonas que no afectan a los

espacios naturales protegidos y tampoco a las especies protegidas de flora y fauna CARTOGRAFIAR el estado topo-batimétrico FINAL de la zona de las obras y, especialmente, de la zona más cercana al espacio de la Red Natura más próximo.

DURANTE LA FASE DE FUNCIONAMIENTO

COMPROBACIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

Se llevará a cabo un estudio de Biocenosis transcurrido un año de la realización de las obras.
Se realizará un estudio de densidad de haces en la pradera de Posidonia.
Se propone realizar un perfil de playa antes de la temporada de baño para comprobar que ésta no ha sufrido regresión alguna.
Realizar un estudio de la hidrodinámica de la zona afectada por el proyecto y comprobar que la playa se encuentra al abrigo de los temporales.

DETECCIÓN DE FACTORES ALTERADOS QUE NO HABÍAN SIDO CONTEMPLADOS EN EL PROYECTO

Finalizada la ejecución de las obras, se procederá como sigue, entendiendo que el periodo de seguimiento se extiende a CUATRO años a contar desde la recepción de las obras.

CARTOGRAFIAR el estado TOPO-BATIMÉTRICO de la zona de actuación con periodo ANUAL.

CONTROLAR la CALIDAD DEL AGUA: toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio de los siguientes parámetros: sólidos en suspensión, salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto, potencial redox, metales, nitrógeno total, fósforo total, clorofila a y comunidades fitoplanctónicas Con PERIODO SEMESTRAL. Queda prohibido cualquier vertido al mar que no posea la correspondiente autorización por parte de la Dirección General del Agua.

REALIZAR un CARTOGRAFIADO BIONÓMICO, así como los estudios necesarios para establecer los cambios sufridos por la biocenosis como recuento de individuos, determinación de densidades y recubrimientos vegetales. Con PERIODO ANUAL.

REALIZAR un plan de seguimiento de RECURSOS PESQUEROS, en coordinación de las cofradías afectadas y emitiéndose informes de forma ANUAL.

MANTENIMIENTO de la boca de las golas en el caso de que sufran aterramientos, con la frecuencia que sea necesaria para que su desagüe sea correcto. Este material deberá ser depositado siguiendo el protocolo establecido y con las correspondientes autorizaciones según su uso.

Finalizado el periodo de seguimiento (actuaciones previas, durante y posteriores a las obras), se elaborara un INFORME FINAL con la recopilación de toda la información y valoración de resultados. En caso de que se detecte cualquier afección al medio no prevista, de carácter negativo y que precise una actuación para ser evitada o corregida, se emitirá un informe con carácter urgente, aportando la información que sea necesaria para tomar las medidas que sean necesarias.

Finalmente, el definitivo programa de vigilancia ambiental y los informes que se realicen se pondrán a disposición de las administraciones públicas afectadas, especialmente:

Dirección General del Medio Natural (Conselleria de Infraestructuras y Medio Ambiente), Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural (MAGRAMA).

Dirección General del Agua., Conselleria de Agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural.

2.9 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

2.9.1 PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

El planeamiento urbanístico que actualmente tiene en vigor el municipio de Nules es el Plan General de Ordenación Urbana. Texto Refundido (3 de marzo de 1992) y sus modificaciones puntuales.

2.9.2 EXPROPIACIONES

Para la ejecución del presente proyecto no será necesario realizar expropiaciones.

3. DECLARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA LEY DE COSTAS

Los firmantes del presente proyecto declaramos expresamente que se cumplen las disposiciones de la Ley 2/2013 de 29 de mayo de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1998, de 28 de julio de Costas, así como el Real Decreto 876/2014 de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.

4. FÓRMULA DE REVISIÓN DE PRECIOS

En cumplimiento con lo indicado en el artículo 3 de la Ley 2/2015 de 30 de marzo de desindexación de la economía española, se concluye que no procede la aplicación de la revisión de precios, dado que el plazo de ejecución de la misma es inferior a un año.

No obstante, se propone a continuación la fórmula de revisión de precios nº 622, para el contrato de ejecución de la presente obra de entre las aprobadas en el anexo II del R.D. 1359/2011 de 7 de octubre:

$$K_t = 0{,}15E_t / E_0 + 0{,}25R_t / R_0 + 0{,}60$$

Donde:

K_t: Coeficiente teórico de revision para el momento de ejecución t.

H_0: Índice del coste de la mano de obra en la fecha de la licitación.

H_t: Índice del coste de la mano de obra en el momento de ejecución t.

E_0: Índice del coste de la energía en la fecha de la licitación.

E_t: Índice del coste de la energía en el momento de la ejecución t.

R_0: Índice del coste de los materiales rocosos en la fecha de la licitación.

R_t: Índice del coste del material rocoso en el momento de la ejecución t.

5. CLASIFICACIÓN DEL CONTRATISTA

De conformidad con el Real Decreto 773/2015 de 28 de agosto las empresas constructoras que deseen concurrir a la licitación de estas obras deben tener al menos la siguiente clasificación:

- Grupo: F, marítimas
- Subgrupo: 7: Obras marítimas sin cualificación específica.
- Categoría 6: Cuantía superior a 6 millones de euros.

6. DECLARACIÓN DE OBRA COMPLETA

Las obras que se definen en este proyecto constituyen un conjunto completo en el sentido de que contienen todos los elementos precisos para que, una vez ejecutadas puedan ser entregadas al servicio correspondiente para su inmediata utilización, según lo dispuesto en la Ley de Contratos de la Administración Pública y su Reglamento.

7. PRESUPUESTO.

Capítulo	**Importe**
ESPIGONES	237.248,76 €
VERTIDO DE MATERIAL DE APORTACIÓN A LA PLAYA	2.015.540,00 €
MEDIDAS CORRECTORAS Y VIGILANCIA AMBIENTAL	75.074,02 €
SEGURIDAD Y SALUD	38.000,00 €
GESTIÓN DE RESIDUOS	3.547,60 €
VARIOS	23.086,40 €
Presupuesto de ejecución material PEM	**2.392.496,78 €**
13% Gastos generales	311.024,58 €
6 % beneficio industrial	143.549,81 €
Suma	2.847.071,17 €
I.V.A. (21 %)	597.884,95 €
Presupuesto de licitación	**3.444.956,11 €**

Asciende el Presupuesto de Licitación a la expresada cantidad de TRES MILLONES, CUATROCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL, NOVECIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL EUROS CON ONCE CÉNTIMOS.

8. PLAZOS

El plazo de ejecución de la obra será de 12 (DOCE) meses de duración, tal y como se recoge en el anejo de plan de obra.

El plazo de garantía será de un (1) año, contado a partir de la recepción. Durante este plazo, si se detectan defectos debidos a deficiencias en la ejecución de las obras, la dirección de obra dará instrucciones a la constructora para que ésta proceda, a su costa, a las reparaciones pertinentes.

9. DOCUMENTOS QUE INTEGRAN EL PROYECTO BÁSICO

El presente proyecto básico consta de los siguientes documentos:

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.

1.- Memoria

2.- Anejos.

2.1.- Anejo fotográfico.

2.2.- Anejo topobatimétrico

2.3.- Anejo de biocenosis.

2.4.- Clima marítimo.

2.5.- Propagación de oleaje.

2.6.- Dinámica litoral.

2.7.- Estudio de alternativas.

2.8.- Dimensionamiento de la solución.

2.9.- Efectos del cambio climático.

2.10- Estudio patrimonial.

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS.

1.- Situación y emplazamiento.

2.- Planta general.

3.- Sección tipo.

DOCUMENTO Nº 3: PRESUPUESTO.

1.- MEDICIONES.

2.- PRESUPUESTO.

Castellón de la Plana, junio de 2019.

Leonardo Monzonís Forner

El Jefe del Servicio de Proyectos y Obras.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: U98979552)

Firmado digitalmente por 85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: U98979552)
Nombre de reconocimiento (DN): 2.5.4.13=Ref:AEAT/AEAT0400/PUESTO 1/45730/14032018125642, serialNumber=IDCES-85088858J, givenName=FRANCISCA ANTONIA, sn=BERENGUER ALBERO, cn=85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: U98979552), 2.5.4.97=VATES-U98979552, o=TECNOMEDITERRANEA SL PREVENCION Y MEDIO AMBIENTE SL UTE LEY 18/1982, c=ES
Fecha: 2019.07.05 13:31:34 +02'00'

Francisca Berenguer Albero

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos.

TECNOMEDITERRÁNEA, S.L.

2.- Anejos.

2.1.- Anejo fotográfico.

1. EMPLAZAMIENTO Y ÁMBITO DE ACTUACIÓN

El ámbito de actuación objeto de este proyecto constructivo es la Playa de Les Marines en Nules (Castellón), de unos 700 m de longitud de línea de costa.

Figura 1. Vista general del emplazamiento del municipio de Nules.

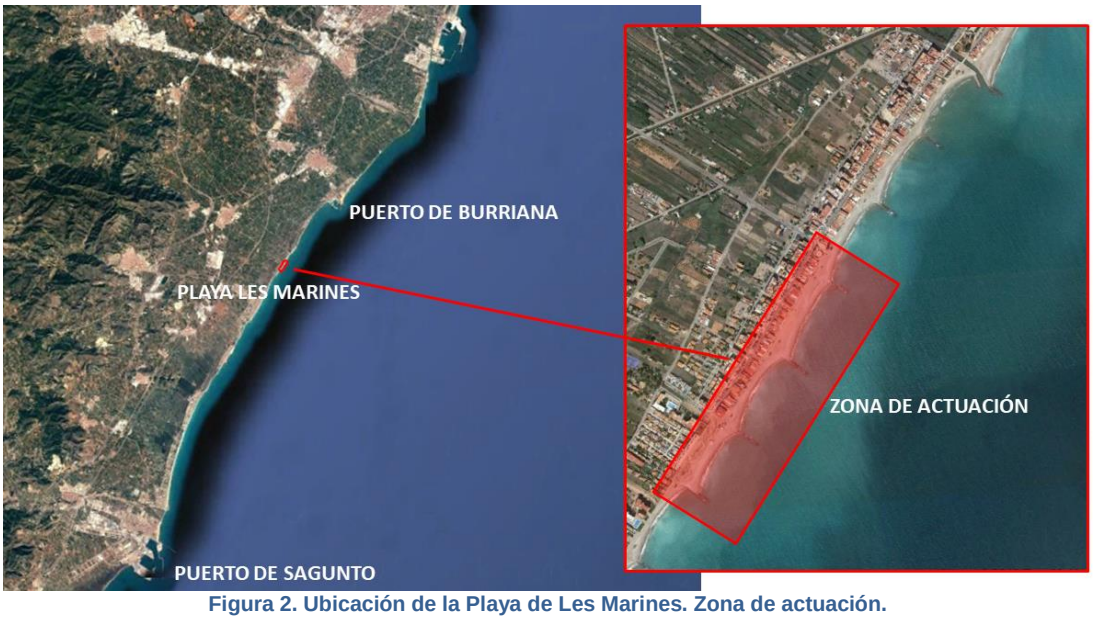


Figura 2. Ubicación de la Playa de Les Marines. Zona de actuación.

2. SITUACIÓN ACTUAL

A continuación se muestran una serie de fotografías tomadas en una visita a la zona el día 29/11/2018. En las imágenes se han numerado los elementos estructurales existentes (en este caso, espigones) de norte a sur (1 a 4) para facilitar cualquier referencia que se haga a ellos en el proyecto.

Figura 3. Faro de Nules y primer espigón del ámbito de actuación.

Figura 4. Vista del tramo de costa entre los espigones 1 y 2.

Figura 5. Vista de los espigones 2 y 3.

Figura 6. Vista del tramo de costa entre los espigones 3 y 4.

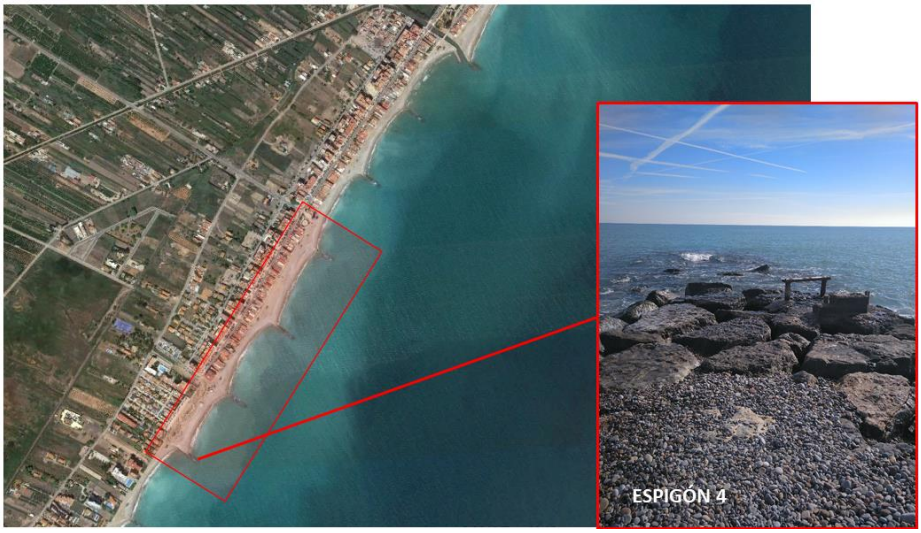


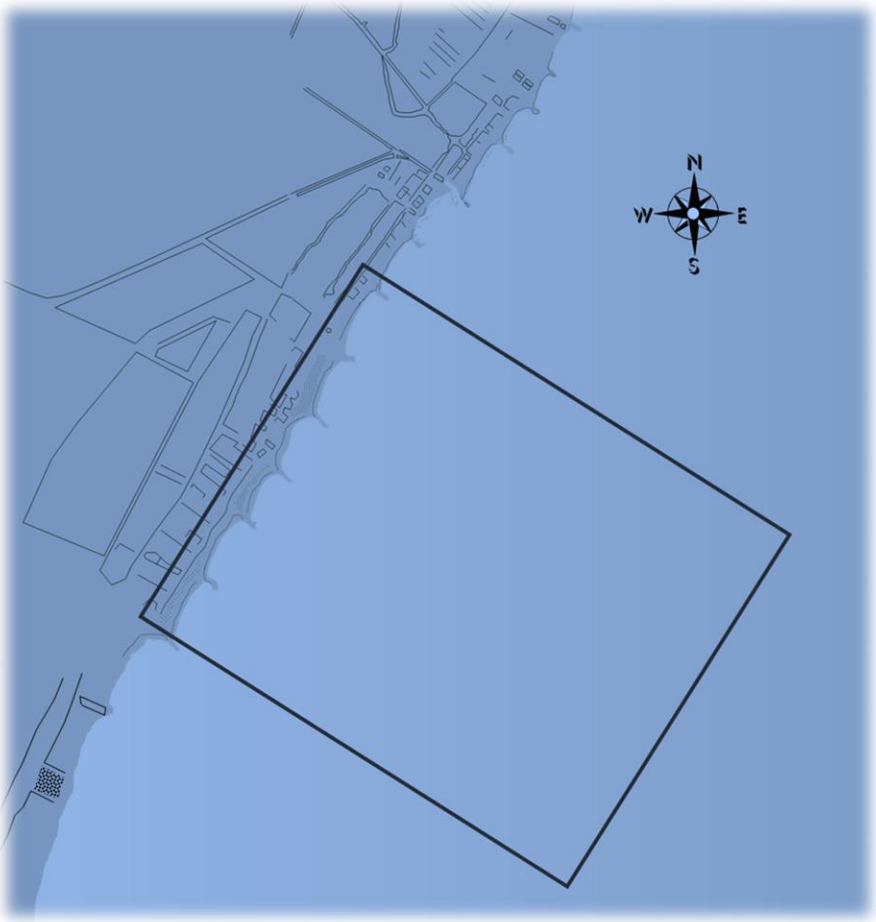
Figura 7. Vista del espigón 4.

2.2.- Anejo topobatimétrico

MEMORIA TÉCNICA

MEM-HI-NULES-001

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO EN LA PLAYA DE NULES, PROVINCIA DE CASTELLÓN, COMUNIDAD VALENCIANA, ESPAÑA



Valencia, octubre de 2018

Mediterráneo Señales Marítimas, S.L.
Pol. Ind. Mas de Tous - C/ Oslo, 12
46185 La Pobla de Vallbona - Valencia ESPAÑA
+34 96 276 10 22 - Fax: +34 96 276 15 98
msm@mesemar.com www.mesemar.com
CIF.: ESB 97686158

REV.	FECHA	BREVE DESCRIPCIÓN DEL CAMBIO	ELAB. POR	REV. POR	APROB. POR
(A)	10/10/18	Revisión	PFRP		
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					
( )					

ELABORADO POR:	**APROBADO POR:**	**FECHA DE EMISIÓN Y SELLO:**
FIRMA: _____	FIRMA _____	
NOMBRE: Pablo Rodríguez Parra	**NOMBRE:** Antonio Martínez Tanco	

Contenido

1. OBJETIVO 4
2. METODOLOGÍA 5
   a. Generalidades 5
   b. Características de los equipos utilizados 5
   c. Personal 7
   d. Ubicación del área de estudio. 7
   e. Especificaciones técnicas del levantamiento batimétrico 8
   f. Especificaciones técnicas del levantamiento topográfico 14
3. BITÁCORA DEL LEVANTAMIENTO 19
   a. Movilización. 19
   b. Reconocimiento, alistamiento y calibración de equipos. 19
   c. Levantamiento batimétrico y topográfico. 19
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS 21
5. CONCLUSIONES 26

1. OBJETIVO.

En atención al contenido del Pliego de Condiciones de los servicios contratados por la UTE Les Marines (Cliente) se ha diseñado la ejecución del servicio de ESTUDIO TOPOBATIMÉTRICO EN LAS INMEDIACIONES DE LA PLAYA DE NULES, PROVINCIA DE CASTELLÓN, COMUNIDAD VALENCIANA, como medio descriptivo de las profundidades adyacentes la citada localidad con los siguientes objetivos específicos:

a. Efectuar la exploración batimétrica.

    1) Capturar, procesar e interpretar los datos batimétricos monohaz de alta frecuencia y alta resolución, mediante la ejecución de un levantamiento batimétrico en la zona adyacente a citada playa.

b. Efectuar la exploración topográfica.

    1) Capturar, procesar e interpretar los datos topográficos de la playa seca hasta la línea de fachada, mediante la ejecución de un levantamiento topográfico utilizando equipos de posicionamiento satelital en modalidad de Cinemático en Tiempo Real (siglas RTK por su acrónimo en inglés de *Real Time Kinematic*).

c. Generar la documentación técnica.

    1) Elaborar un plano a escala conveniente para modelar el contorno del fondo marino y la topografía en la localidad.

    2) Presentar una memoria técnica con los detalles del levantamiento

El presente documento detalla los principales aspectos técnicos del levantamiento, tanto de la campaña de terreno como del procesamiento de los datos. Incluye, junto con los datos digitales, las principales salidas computacionales que dieron origen al plano batimétrico y topográfico como producto final.

2. METODOLOGÍA.

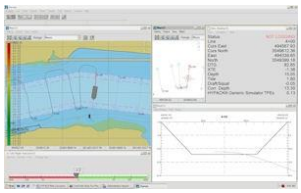
a. Generalidades.

En función de lo estipulado en el Pliego de Condiciones consignado por el Cliente, el objetivo ulterior del estudio consistió la determinación de la condición topográfica de la playa seca de Nules hasta la línea de fachada de las viviendas y de las profundidades del área submarina aledaña a la citada playa hasta la isóbata de los 10m de profundidad. A estos fines, la prospección hidroacústica o sondeo batimétrico se realizó apegada a las normas establecida por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) titulada “Normas de la OHI Para los Levantamientos Hidrográficos” (S-44), ajustada en función de las especificaciones técnicas del Cliente, para lo cual se utilizó un ecosonda hidrográfico digital monohaz de alta frecuencia, con respaldo de datos mediante software hidrográfico y posicionamiento proporcionado por una estación de recepción satelital GNSS, registrando siempre en modalidad RTK.

Asimismo, se efectuó el levantamiento topográfico del área de la playa seca mediante el empleo del equipo satelital GNSS tomando las coordenadas en la modalidad RTK de los contornos seleccionados y sobre elementos de interés notable ubicados en el área, puntos conspicuos y estructuras cercanas, entre otros.

b. Características de los equipos utilizados.

	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
	Ecosonda hidrográfico monohaz	• Marca SyQwest • Modelo HydroBox HD • Alta frecuencia (210 kHz) • Grabador de ecograma digital • Resolución en profundidad 1cm
	DGPS Rover y Base	Marca Trimble Modelo 5800 24 canales en frecuencia L1/L2 Radiomodem integrado

	EQUIPO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
	GPS Rover	Marca Trimble Modelo R8 440 canales: - (GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 - GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 - Galileo: E1, E5A, E5B - BeiDou (COMPASS): B1, B2, B3 Radiomodem integrado
	Ordenador topográfico de mano	Marca Trimble Modelo TSC3
	Software Hypack	Versión MAX 2018 Empleado para configuración de los equipos, calibraciones, captura, procesamiento e interpretación de los datos hidrográficos, planificación y control de la navegación del levantamiento
	Mareógrafo	Marca RBR Modelo Virtuoso Data logger de nivel a presión Precisión ± 1 cm Rata de registro 1 seg.
	Mareógrafo	Marca Sensus Ultra Modelo U-04123 Precisión ± 1 cm Rata de registro 10 seg.
	Toughbook	Marca Panasonic Modelo CF-30 Ordenador de campo protegido bajo los certificados: Resistencia al agua: IEC529 (JIS C0920) IP-X4, MIL-STD 810F 506.4-III Resistencia al polvo: IEC529 (JIS C0920) IP-5X, MIL-STD 810F 510.4-Level Resistencia a la caída por gravedad: MIL-STD 810F 516.5 (caída desde 90 cm) Resistencia a vibraciones: MIL-STD 810F 514.5 categoría 24

c. Personal.

1) PABLO RODRÍGUEZ PARRA – Jefe Hidrógrafo.

2) CARLOS RODRÍGUEZ BRICEÑO – Técnico hidrógrafo.

3) ANDRÉS ARRUE GIL – Patrón profesional.

4) TATIANA YUSTI VELÁSQUEZ - Coordinadora logística.

d. Ubicación del área de estudio.

La playa de Nules es una franja costera de unos dos mil cuatrocientos metros de longitud que está localizada en una zona costera turística perteneciente a la localidad del poblado marítimo de Nules.

El área objeto del estudio es identificable de acuerdo al croquis suministrado en el Pliego de Condiciones de la UTE Les Marines por una gola referente y por la presencia de siete estructuras tipo espigones perpendiculares a la playa, siendo el primero en sentido Sur-Suroeste – Nor-Noreste, con una separación más o menos constante de unos doscientos veinte metros entre sí, lo cual comprende una total de mil cuatrocientos metros lineales de costa a levantar.

El área levantada está circunscrita a una poligonal regular cuadrangular de aproximadamente mil cuatrocientos metros (1400 m) de base medidos a lo largo de la playa por mil seiscientos metros (1600 m) hacia el mar. El cuadrilátero diseñado para el levantamiento contiene el área solicitada dentro de una superficie de doscientas veinticuatro hectáreas (224 ha) y está definido por los vértices indicados en la siguiente tabla:

ID	Coordenadas UTM, zona 30 Norte, ETRS89	
	Este	Norte
A	747399.12	4412704.80
B	746659.31	4411521.10
C	748024.63	4410667.93
D	748764.41	4411851.81

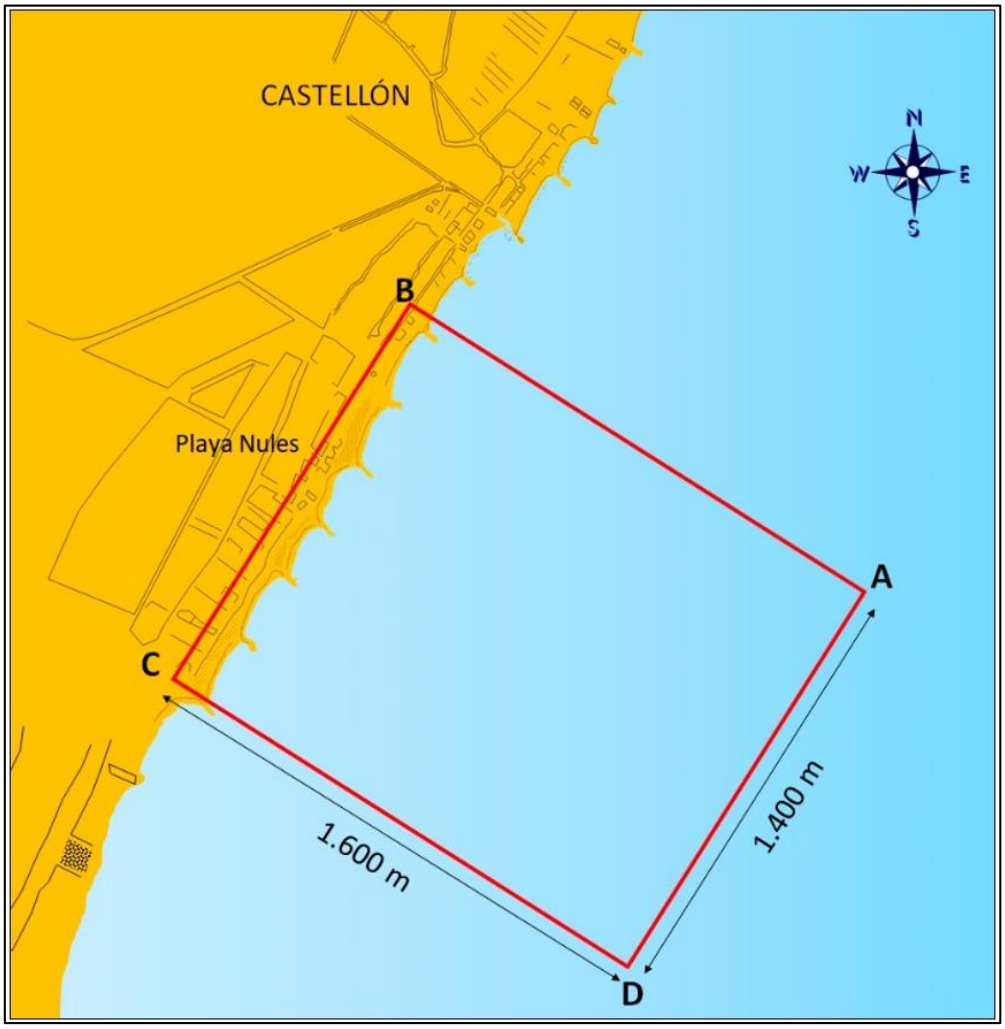


Ilustración 1. Polígono del sondeo cubierto en la playa de Nules

e. Especificaciones técnicas del levantamiento batimétrico.

El levantamiento batimétrico se realizó en dos etapas: la etapa 1 dedicada a la ejecución de 56 líneas de sondaje principales separadas cada veinticinco metros por requerimiento del Cliente y con orientación perpendicular a la línea de costa y la etapa 2 dedicada a la ejecución de 4 líneas de comprobación separadas cada doscientos cincuenta metros y con sentido paralelo a la costa, o lo que es igual, perpendiculares a las líneas de sondaje principales.

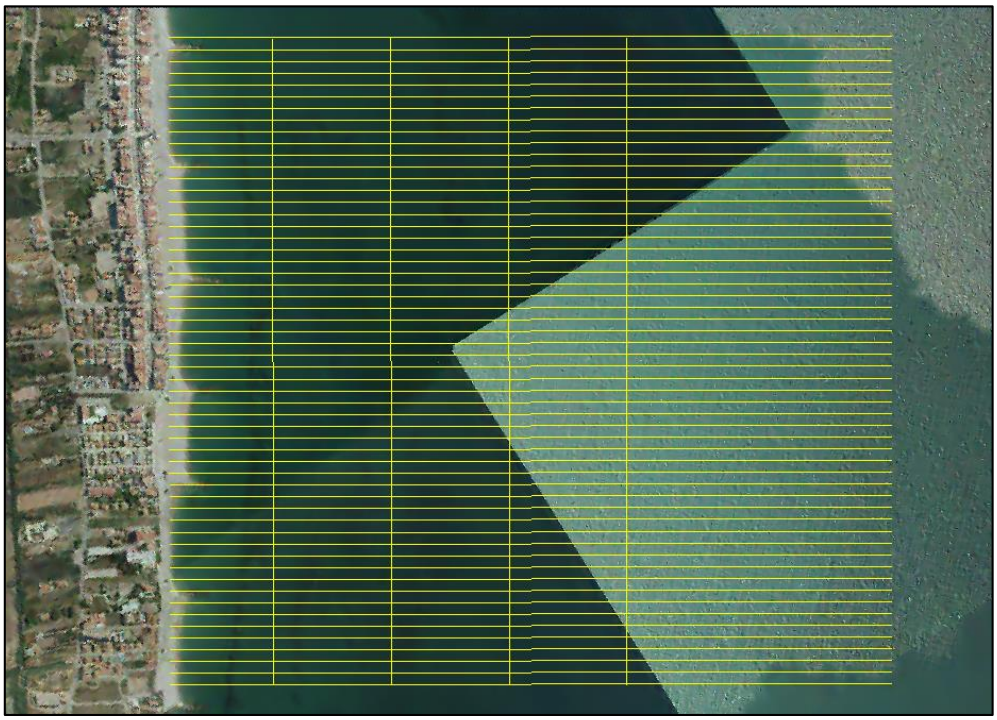


Ilustración 2. Planificación de líneas de sondeo

El proyecto de las 56 líneas de sondaje principales separadas cada 25m mostrado en la ilustración 2, tiene su inicio en el sector más cercano a costa, justo en la zona estable antes de la rompiente de la ola, hasta llegar al otro extremo el cual fue limitado a la profundidad de 10m por requerimientos del Cliente, estas líneas tuvieron una longitud promedio de 1300m.

Asimismo, las 4 líneas de comprobación, perpendiculares a las líneas de sondaje principales, tuvieron una longitud estimada de 1400m.

Para ambas etapas se efectuaron los sondeos batimétricos mediante el empleo de un ecosonda hidrográfico digital monohaz de alta frecuencia (210 kHz), sistema de posicionamiento GPS en modalidad RTK con correcciones diferenciales a las pseudodistancias y de fase de portadora en formato RTCM versión 3, con soluciones fijas, mediante la estación transmisora instalada en la localidad de Burriana (ver ficha anexa) perteneciente al Instituto Cartográfico de Valencia (ICV) y que se encuentra ubicada a 9 Km del área de estudio, empleando el formato de transmisión NTRIP, para garantizar una precisión centimétrica (error horizontal <2 cm), sistema de adquisición de datos hidrográficos automatizado por medio del software hidrográfico (Hypack versión 2018), para cubrir una área de aproximadamente de doscientas veinticuatro hectáreas (224 ha).

La calibración del ecosonda por velocidad del sonido en el agua fue efectuada *in situ* con el método denominado calibración por plancha, descendiendo en pasos de dos metros una lámina metálica graduada, hasta llegar a los 10 metros de profundidad, corroborando y ajustando las lecturas de profundidad en el ecosonda.

El mareógrafo de presión, fue instalado en el puerto de Burriana, por ser el sitio más cercano al área del levantamiento (5 km) y protegido del oleaje, para registrar el fenómeno de la variación de la marea *in situ* durante la captura de los datos batimétricos, mitigando su afectación por el efecto del oleaje, asimismo y ante la ausencia de un Banco de Nivel de Marea (Bench Mark ó BM) en el citado puerto, se realizó la nivelación del mareógrafo instalado por medio del empleo de un GNSS en modalidad RTK obteniéndose una precisión de 1.2cm.

Ilustración 3. Faena de posicionamiento satelital GNSS para nivelación del mareógrafo instalado en el puerto de Burriana

Estación mareográfica	Ubicación del sensor de medición de mareas (Coordenadas UTM, zona 30 Norte, ETRS89)		
	Este	Norte	Altura en metros sobre el NMMA
Esquina Norte de la marina de Burriana	750356.2170	4416710.8630	0.841

Las mediciones de marea tomadas por el mareógrafo de presión fueron cotejadas con los niveles de marea del mareógrafo del puerto de Sagunto (ubicado a 23 km del área de estudio y a 28 km del puerto de Burriana), por ser un mareógrafo principal adscrito a la Red de Mareógrafos de Puertos (REDMAR), perteneciente a Puertos del Estado, siendo que ambas mareas compaginaron en amplitud y sincronismo.

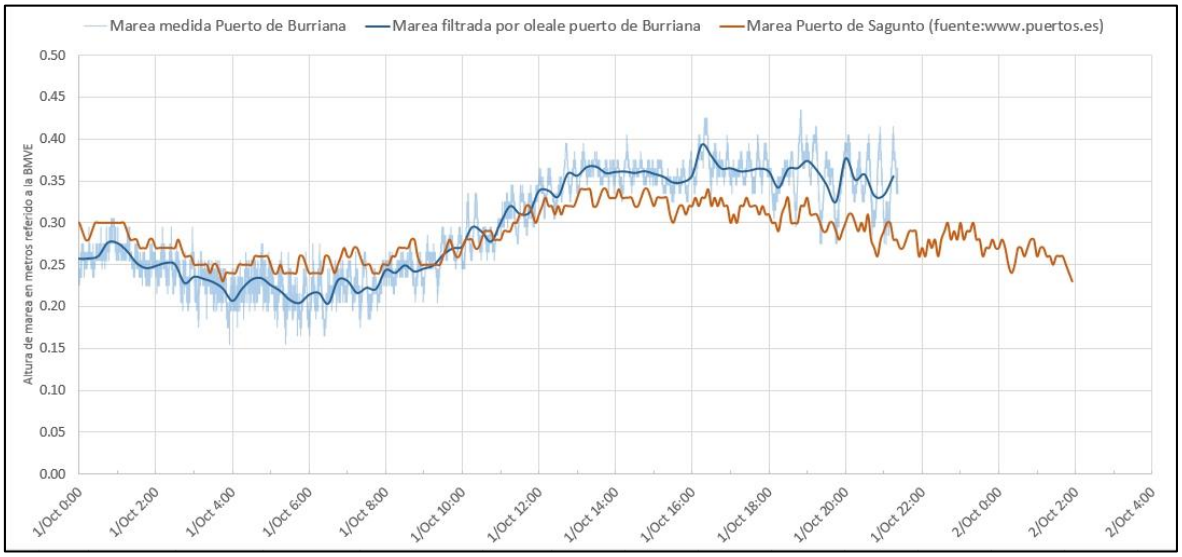


Ilustración 4. Comparación de niveles de marea medidos por el mareógrafo del puerto de Sagunto (REDMAR) y el mareógrafo instalado en el puerto de Burriana

En este orden de ideas, las profundidades medidas por el ecosondas hidrográfico fueron reducidas en postproceso por la altura de la marea y son presentadas en el plano en metros referidos a la Bajamar Máxima Viva Equinoccial (BMVE), según la siguiente relación de niveles de referencia vertical para el puerto de Sagunto, cuya serie de datos históricos está basada en las mediciones realizadas entre 2007 y 2013:

Máximo nivel observado:	0.54m
Máxima pleamar astronómica:	0.13m
Cero de la REDMAR:	0.0m
Nivel Medio del Mar en Sagunto:	-0.04m
Nivel Medio del Mar en Alicante:	-0.191m
Mínima bajamar astronómica (BMVE):	-0.22m
Mínimo nivel observado:	-0.45m

Estos valores has sido extraídos de documentos oficiales de los organismos rectores de la materia: Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), Puerto del Estado y el Instituto Cartográfico de Valencia (ICV), los cuales se entregan como anexos junto a la memoria digital de este levantamiento.

En el muelle de embarque del puerto de Burriana, ubicado en la rampa pública de varada, se realizaron dos sesiones de grabación de datos de posicionamiento con el GNSS, a los fines de disponer de dos Puntos de Apoyo al Sondeo (PAS) para posterior comprobación del sistema de posicionamiento a bordo de la embarcación.

Ilustración 5. Medición de Puntos de Apoyo al Sondeo en la rampa pública de varada del puerto de Burriana

PAS	Ubicación del sensor de medición de mareas (Coordenadas UTM, zona 30 Norte, ETRS89)		
	Este	Norte	Altura en metros sobre el NMMA
Muelle Norte	750187.7680	4416529.4420	0.406
Muelle Sur	750178.5870	4416526.3000	0.356

En este sentido y para garantizar la integridad del posicionamiento del equipo GNSS, se realizó la inspección de los dos vértices geodésicos pertenecientes al IGN y que se encuentran cercanos al área de estudio, estos fueron el vértice Mascarell (código 64111) ubicado a 5km del área de estudio y el vértice Fonfría (código 64120) a 1Km del área de estudio, ambas reseñas de vértices se encuentran en los anexos de la presente memoria técnica.

Ilustración 6. Ubicación de los vértices geodésicos y estación de referencia NTRIP

El vértice Fonfría se encuentra ubicado sobre el techo de la caseta del ascensor de un edificio frente a la playa, dicho techo tiene una altura de 4m sobre la azotea, pero no pudo ser visualizado propiamente motivado a indisponibilidad del presidente de la comunidad por motivos laborales, quien es la persona que dispone de las llaves que da acceso a la azotea del edificio, sin embargo, manifestó que ciertamente el vértice se encuentra operativo en dicha ubicación.

No obstante, si se logró inspeccionar físicamente el vértice Mascarell, el cual se encuentra ubicado en un puente encima de las vías férreas, sobre este vértice se realizó una sesión de grabación con el GNSS en modalidad RTK comprobándose la integridad del posicionamiento.

Ilustración 7. Comprobación del posicionamiento del GNSS sobre el vértice Mascarell

PAS	Ubicación del vértice geodésico (Coordenadas UTM, zona 30 Norte, ETRS89)		
	Este	Norte	Altura elipsoidal
Mascarell	744369.7440	4416329.0830	75.540

Todo el posicionamiento con el GNSS fue realizado bajo el sistema de referencia geodésico ETRS89, por ser éste el sistema oficial adoptado por España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y Baleares, estando asociado este sistema al elipsoide GRS80.

f. Especificaciones técnicas del levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico fue ejecutado empleando los equipos GNSS en modalidad RTK, instalados sobre un jalón y con el ordenador topográfico de mano, siendo que los puntos topográficos recabados en campo fueron medidos como estaciones estáticas RTK en cada punto conspicuo de interés topográfico, a excepción del caminamiento que se realizó sobre la línea de costa, el cual se utilizó una mochila portadora del GNSS para preservar la integridad del equipo motivado al oleaje rompiente presente en la zona de la medición, sin embargo, durante este caminamiento el equipo también funcionó en modalidad RTK, manteniendo las soluciones fijas en todo momento.

Los puntos topográficos levantados conllevaron varios objetivos a saber: el primero definir la línea de costa en condiciones adversar de mar, con oleaje alto (1.5 y 2m) y durante la pleamar, a fin de registrar el máximo alcance de la línea de costa hacia tierra durante el período del estudio; el segundo objetivo fue similar al primero pero realizando el levantamiento durante un período con mar estable, poco oleaje y en bajamar, a fin de definir la línea de costa que más se alejase hacia el mar durante el período del estudio; el tercer objetivo fue el definir el perfil altimétrico de la playa, que a pesar de que este nivel es muy variable ya que depende directamente de los procesos dinámicos de erosión y sedimentación, más aun considerando que la composición de la playa es en su mayoría piedras de canto rodado en su nivel superior y en menor medida grava y arena en los niveles inferiores, muy susceptibles a la acción del oleaje, sin embargo se consideró pertinente registrar este parámetro para posteriores análisis comparativos y/o de diseño de modelos u obras de ingeniería; y como cuarto objetivo fue el de realizar una clasificación de campo y definir los diferentes elementos naturales y artificiales presentes en el área objeto de estudio, tales como edificaciones y otras estructuras artificiales (escolleras y su estado, bloques y placas de hormigón, reforzamientos de talud con rocas, etc), dunas y áreas con considerable acumulación de canto rodado o arena, entre otros aspectos.

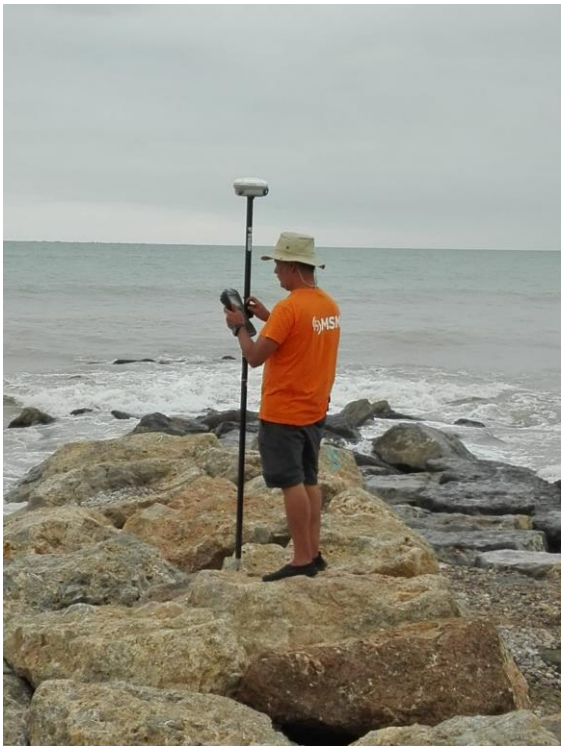


Ilustración 8. Levantamiento topográfico

De esta forma, cada punto topográfico levantado dispone de posicionamiento preciso en sus coordenadas xyz y también de su clasificación descriptiva que lo caracteriza, además de los parámetros habituales de la precisión en el plano horizontal y vertical, cantidad satélites empleados para el cálculo de la posición, altura del jalón, fecha y hora de la captura, entre otros parámetros.

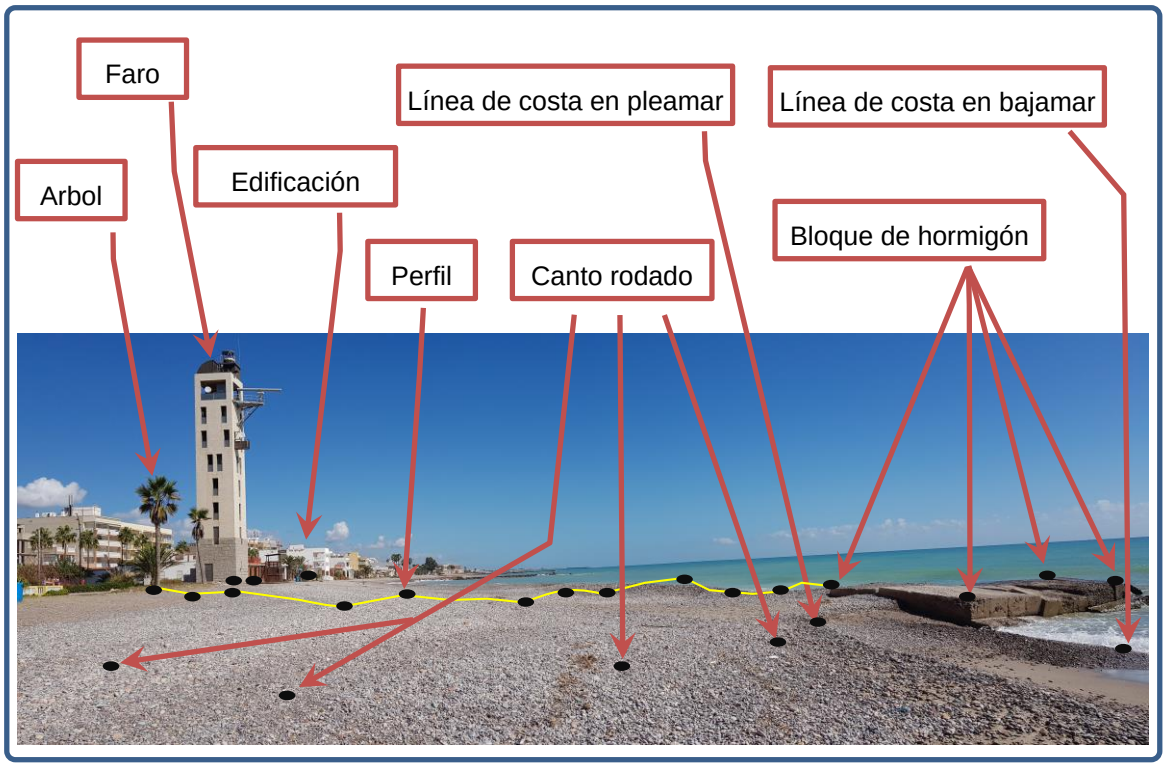
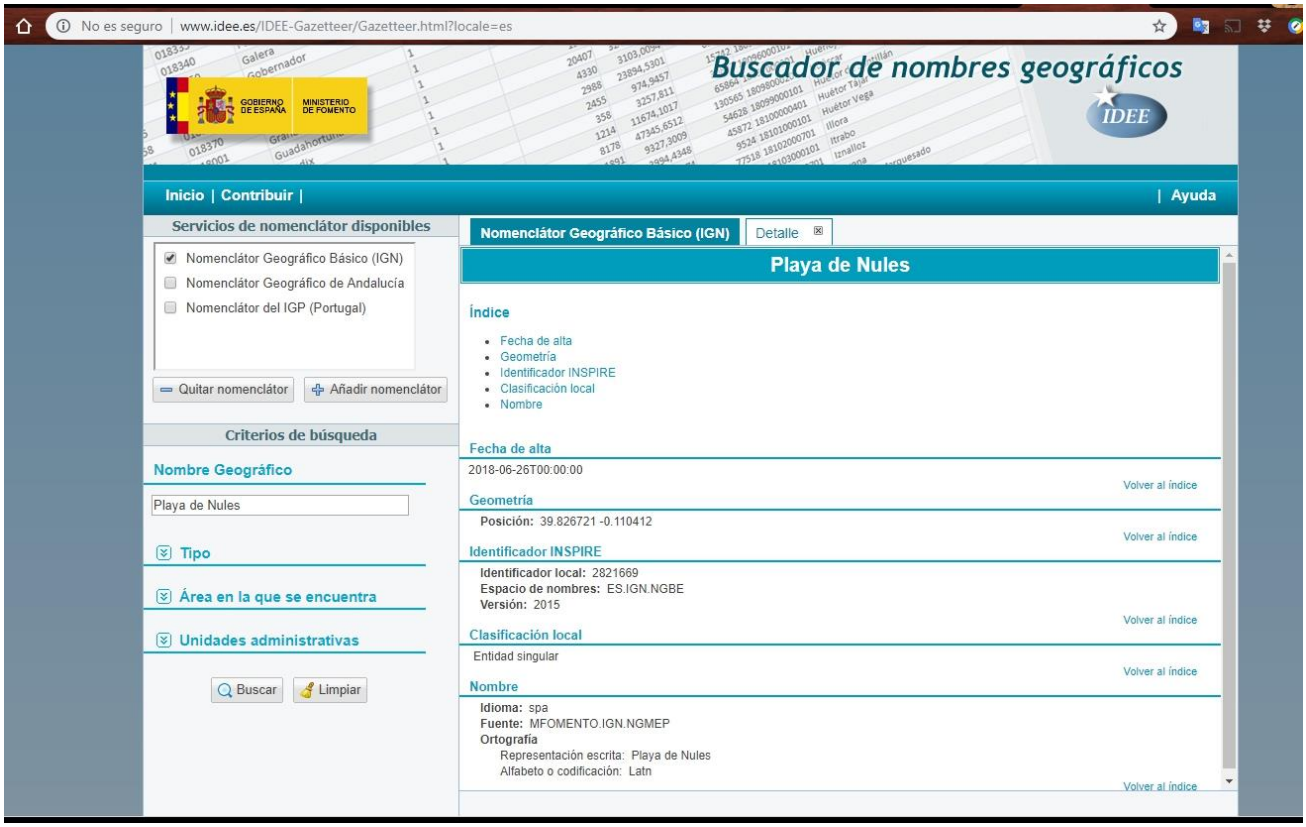
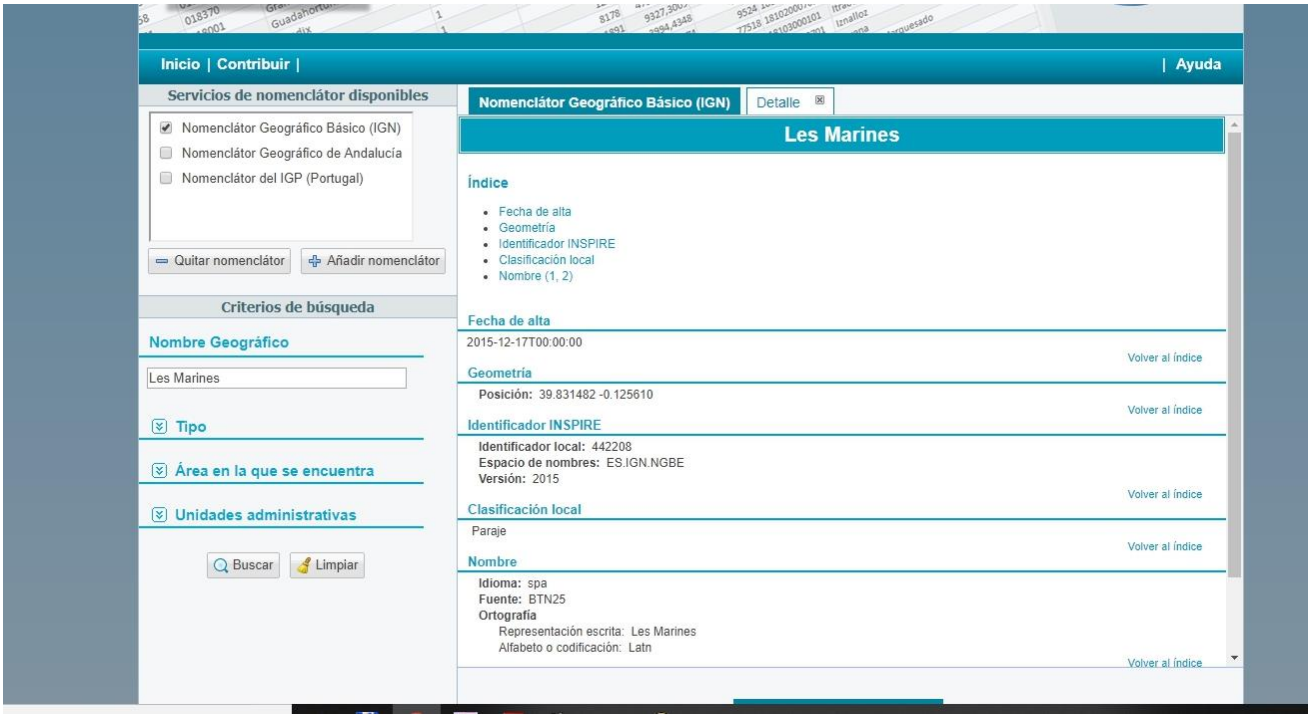


Ilustración 9. Imagen descriptiva de los elementos levantados topográficamente

En cuanto a la toponimia, se realizó una investigación documental en la web del IGN a los fines de verificar el topónimo del nombre geográfico correcto y oficial para la denominación del área de estudio siendo éste el de “Playa de Nules”, asimismo el topónimo “Les Marines” corresponde a un paraje ubicado a 1.5 Km del área de estudio, sin embargo, esta información es a título orientativo y queda a discrecionalidad del Cliente emplear el topónimo que considere más oportuno y pertinente.


No es seguro | www.idee.es/IDEE-Gazetteer/Gazetteer.html?locale=es
Buscador de nombres geográficos
IDEE
GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE FOMENTO
Inicio | Contribuir |
| Ayuda
Servicios de nomenclátor disponibles
Nomenclátor Geográfico Básico (IGN)
Nomenclátor Geográfico de Andalucía
Nomenclátor del IGP (Portugal)
Quitar nomenclátor
Añadir nomenclátor
Criterios de búsqueda
Nombre Geográfico
Playa de Nules
Tipo
Área en la que se encuentra
Unidades administrativas
Buscar
Limpiar
Nomenclátor Geográfico Básico (IGN)
Detalle
Playa de Nules
Índice
Fecha de alta
Geometría
Identificador INSPIRE
Clasificación local
Nombre
Fecha de alta
2018-06-26T00:00:00
Volver al índice
Geometría
Posición: 39.826721 -0.110412
Volver al índice
Identificador INSPIRE
Identificador local: 2821669
Espacio de nombres: ES.IGN.NGBE
Versión: 2015
Volver al índice
Clasificación local
Entidad singular
Volver al índice
Nombre
Idioma: spa
Fuente: MFOMENTO.IGN.NGMEP
Ortografía
Representación escrita: Playa de Nules
Alfabeto o codificación: Latn
Volver al índice


Inicio | Contribuir |
| Ayuda
Servicios de nomenclátor disponibles
Nomenclátor Geográfico Básico (IGN)
Nomenclátor Geográfico de Andalucía
Nomenclátor del IGP (Portugal)
Quitar nomenclátor
Añadir nomenclátor
Criterios de búsqueda
Nombre Geográfico
Les Marines
Tipo
Área en la que se encuentra
Unidades administrativas
Buscar
Limpiar
Nomenclátor Geográfico Básico (IGN)
Detalle
Les Marines
Índice
Fecha de alta
Geometría
Identificador INSPIRE
Clasificación local
Nombre (1, 2)
Fecha de alta
2015-12-17T00:00:00
Volver al índice
Geometría
Posición: 39.831482 -0.125610
Volver al índice
Identificador INSPIRE
Identificador local: 442208
Espacio de nombres: ES.IGN.NGBE
Versión: 2015
Volver al índice
Clasificación local
Paraje
Volver al índice
Nombre
Idioma: spa
Fuente: BTN25
Ortografía
Representación escrita: Les Marines
Alfabeto o codificación: Latn
Volver al índice

El control de calidad de los datos se efectuó inmediatamente después del sondeo, efectuando la verificación de los registros del ecograma digital del ecosondas junto con los datos de sondas almacenados por el software hidrográfico, de igual forma se realizó el filtrado de los ecos no deseados producto de elementos ubicados en la columna de agua, así como la restauración del registro del fondo en los sectores con mayor perturbación por exceso de burbujas de aire en el agua, como los sectores cerca de las escolleras y de la zona de rompiente de las olas. Simultáneamente se corroboró la integridad del posicionamiento y la continuidad de las soluciones fijas del RTK, así como la detección de los saltos de antena. Posteriormente se aplicó la reducción de la marea y se sacaron las estadísticas del trabajo de campo efectuado.

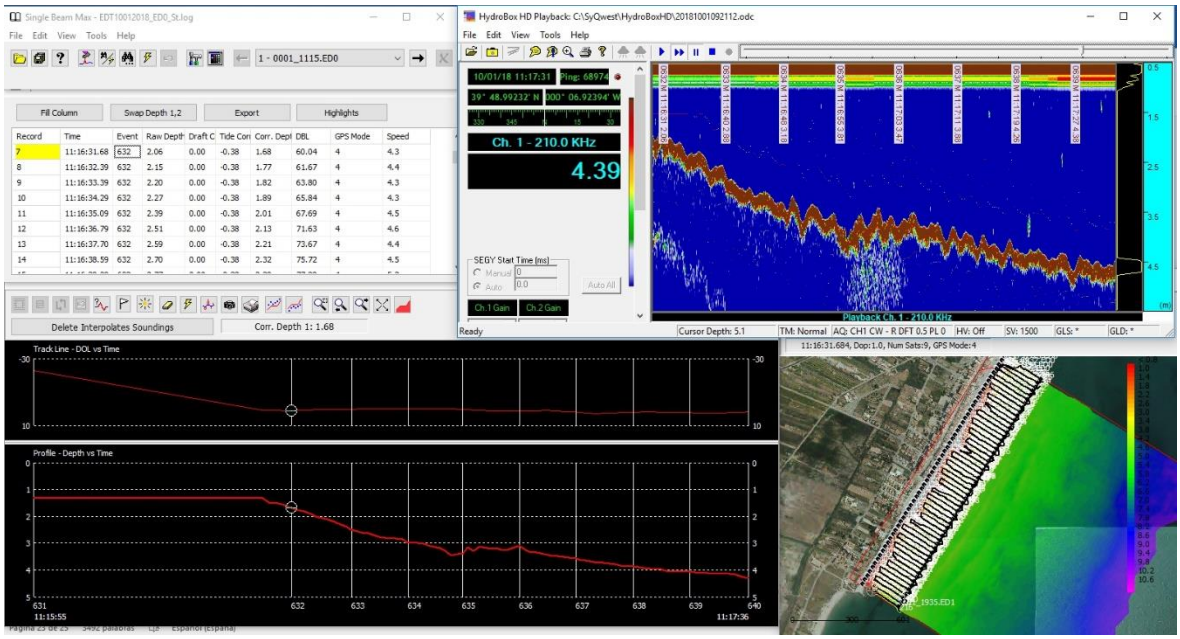


Ilustración 11. Ejemplo de captura de pantalla del software del ecosonda mostrando el ecograma digital (arriba a la derecha) versus la sonda digitalizada en el software Hypack (abajo a la izquierda)

El procesamiento se completó con la selección de sondas mediante aplicación de criterios hidrográficos para ilustrar la configuración morfológica del fondo marino en el área, así como la definición de las líneas isobatimétricas. La elaboración del plano se extendió sobre la zona indicada en las especificaciones a escala 1:2.000 para facilitar la visualización mediante la fuente más convenientes e ilustradas con modelos digitales de terreno en la información marginal del producto.

3. BITÁCORA DEL LEVANTAMIENTO

a. Movilización.

El día 22SEP18 se realizó el traslado del personal, materiales y equipos hacia el sector de Castellón, a los fines de dar inicio con las labores de campo.

b. Reconocimiento, alistamiento y calibración de equipos.

El día 23SEP18 se realizó el reconocimiento terrestre del área de la playa de Nules, así como al puerto y la marina de Burriana, para ubicar la mejor ubicación para la instalación del mareógrafo y a la rampa de varada pública de Burriana, posteriormente se realizó la prueba funcional a la embarcación marca Suzumar, modelo DS-320-AL junto al motor fuera de borda marca Suzuki, modelo DF15AS, realizando el reconocimiento marítimo del área de estudio frente a la playa de Nules.

El día 24SEP18 se alistó la embarcación con los aparejos y equipos para realizar el levantamiento batimétrico, corroborando la prueba funcional de los mismos.

c. Levantamiento batimétrico y topográfico.

El día 25SEP18 a primera hora de la mañana, se efectuó la instalación y nivelación del mareógrafo en la marina de Burriana.

De igual forma se procedió a sembrar dos Puntos de Apoyo al Sondeo en el muelle de embarcaciones menores ubicado en la rampa pública de varada del puerto de Burriana.

Posteriormente, se dio inicio a las labores batimétricas aún en horas de la mañana, pero hubo que suspender temporalmente el levantamiento motivado al elevado mal estado de la mar, con olas muy altas de período inestable y rompientes muy fuertes en la zona objeto del estudio, aunado a la alerta meteorológica en la costa de Castellón, realizándose solamente la calibración de los equipos en la mar.

En horas de la tarde se realizó el levantamiento topográfico de la línea de costa de la playa de Nules, aprovechando la presencia de mal tiempo, olas altas con fuerte rompiente, a fin de registrar el contorno de la línea de costa bajo estas circunstancias agrestes.

Ilustración 12. Mal estado del mar durante el día 25SEP18

El día 26SEP18 se realizó trabajo de gabinete procesando la información topográfica recabada el 25SEP18 motivado a la inestabilidad atmosférica y mal estado del mar.

El 27SEP18 se inspeccionaron los vértices geodésicos de Fonfría y Mascarell, realizando la sesión de grabación sobre el vértice de Mascarell, siendo que los días del 27 al 29SEP18 prevaleció el mal estado de la mar.

El día 30SEP18 se retomaron las labores batimétricas ya que las condiciones de mar mejoraron tenuemente, pero de igual forma se prosiguió con el sondeo dada la incertidumbre sobre el posible estado del mar para los días subsiguientes.

El día 01OCT18 se continuaron con las labores batimétricas donde prevaleció el buen tiempo atmosférico y estado de la mar.

Posteriormente en horas de la noche, se retiró el mareógrafo de la marina de Burriana.

Desde el 02 y 03OCT18 se realizó trabajo de gabinete procesando los datos batimétricos y de marea capturados en campo.

El día 04OCT18 se realizó el complemento del levantamiento topográfico, dada la mejoría en las condiciones de oleaje registrando la línea de costa en bajamar, además de levantar los demás elementos conspicuos de la playa seca.

Del día 05 al 07OCT18 se realizó el procesamiento de los datos topográficos recabados en campo, el control de calidad de todos los datos capturados y procesados, así como la generación de los productos finales, planos y la memoria técnica del levantamiento.

El día 08OCT18, por requerimiento del Cliente, se procedió a levantar mayor información topográfica hasta la línea de fachada de las viviendas.

El 09OCT18, se continuó con las labores de procesamiento, control de calidad y generación de productos finales.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El 08OCT18, se dieron por culminadas las labores de campo, obteniendo como resultado más efectivo el de las faenas hidrográficas de los días 30SEP18 y 01OCT18, el cabal cumplimiento a la planificación hidrográfica proyectada, arrojando las siguientes estadísticas:

Descripción del Proyecto de Líneas Playa de Nules		Cantidad de Líneas	Separación entre líneas (m)	Longitud promedio de cada línea (m)	Longitud total de sondeo (Km/MN)
LDS	LDS perpendiculares a la costa (a las isóbatas)	56	25	1300	74.1 / 40
LDC	LDC perpendiculares a las LDS	04	250	1400	5.6 / 3
	Total	60	-	-	79.7 / 43

La visualización de los datos capturados clasificados por colores permite discriminar el comportamiento de las líneas isobatimétricas, donde claramente puede observarse como característica hidrográfica que el área corresponde a aguas someras, siendo la proyección de la pendiente tenue pero regular.

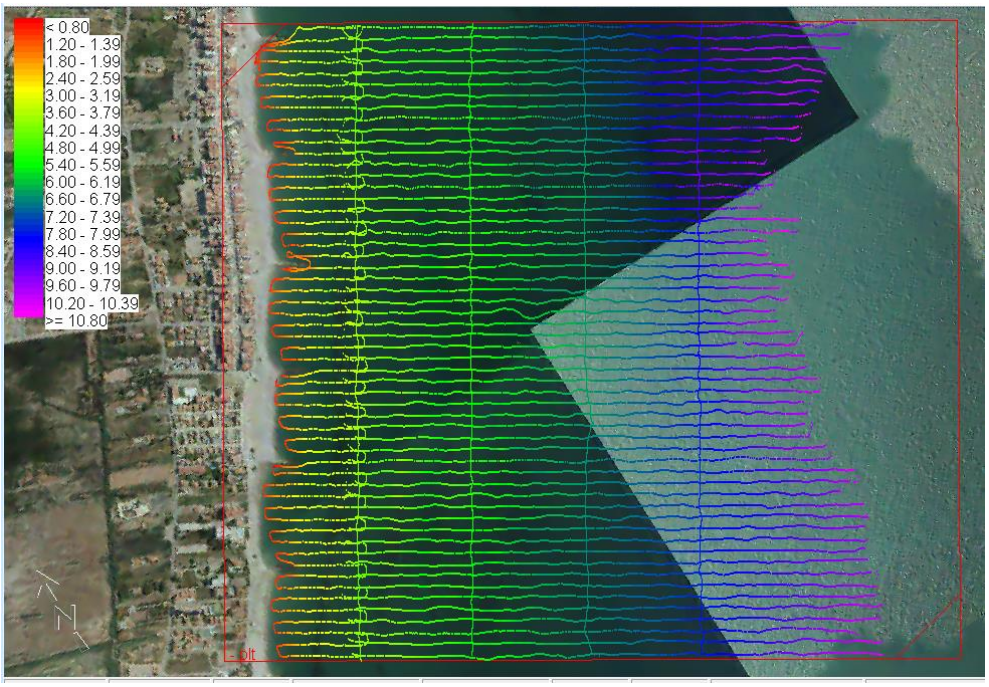


Ilustración 13. Ejecución de las líneas batimétricas desde la costa hasta la isóbata de los 10m

Con los datos ya procesados y efectuado el correspondiente control de calidad de los mismos, se procedió a generar el consecuente modelo digital de terreno (MDT), para lo cual se empleó una herramienta del software hidrográfico que genera una malla triangular denominada TIN (por sus siglas en inglés *Triangular Irregular Network*) basada en el algoritmo de Delaunay y el diagrama de Voronoi, con el cual se genera una superficie tridimensional que mejor refleja la geomorfología del fondo marino.

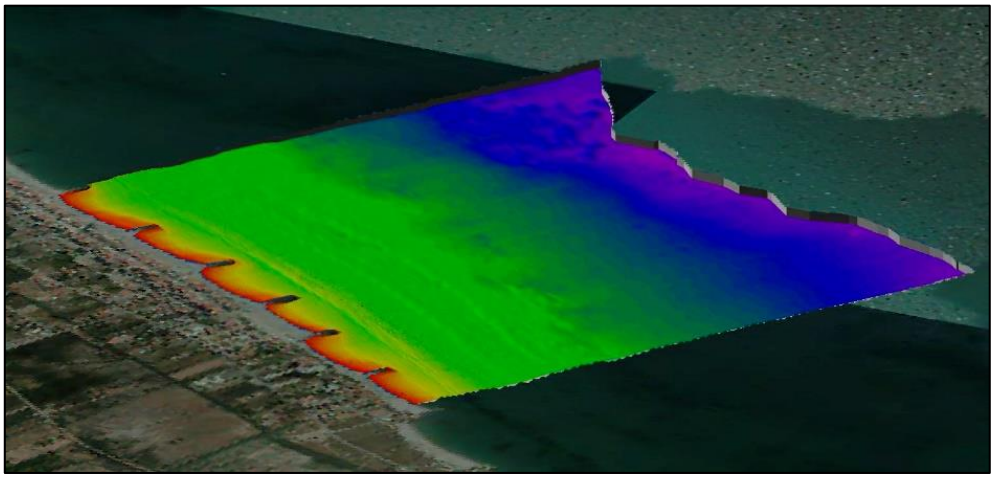


Ilustración 14. Modelo Digital del Terreno de toda el área levantada

El MDT generado con los datos batimétricos procesados refleja claramente, entre otros aspectos, la existencia de tres formaciones posiblemente geológicas que son paralelas a la línea de costa y que representan una ligera discontinuidad del lecho marino.

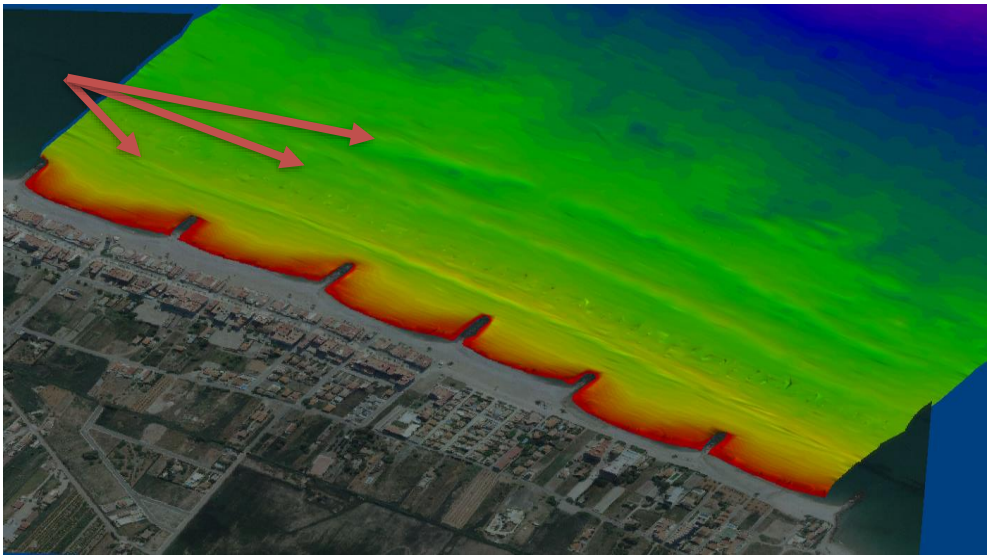


Ilustración 15. Detalle del MDT donde se observan las tres posibles formaciones geológicas

Parte de estas formaciones también se pueden apreciar en las imágenes aéreas de ese sector que disponen de buena visibilidad, claridad del agua, poca nubosidad y reflejo del sol.

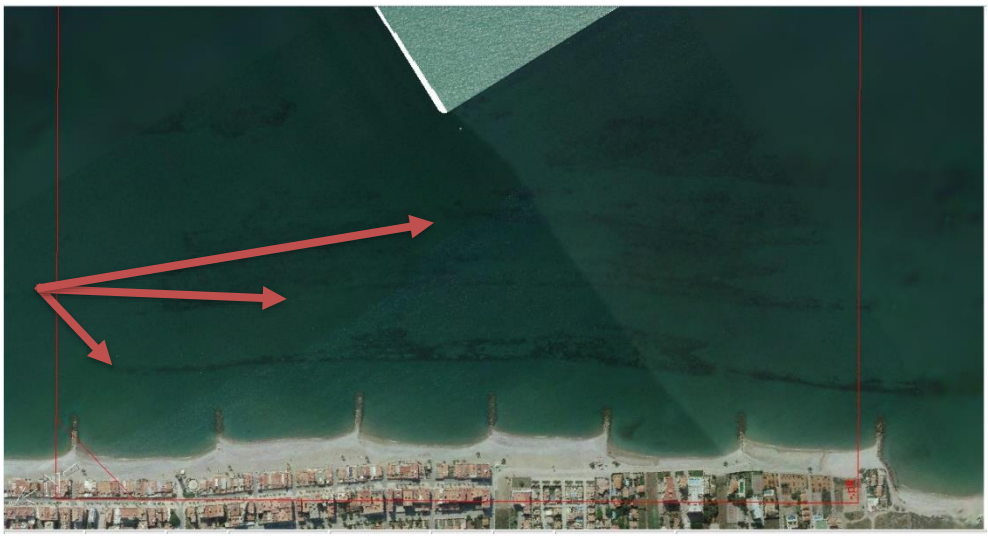


Ilustración 16. Detalle del MDT donde se observan las tres posibles formaciones geológicas

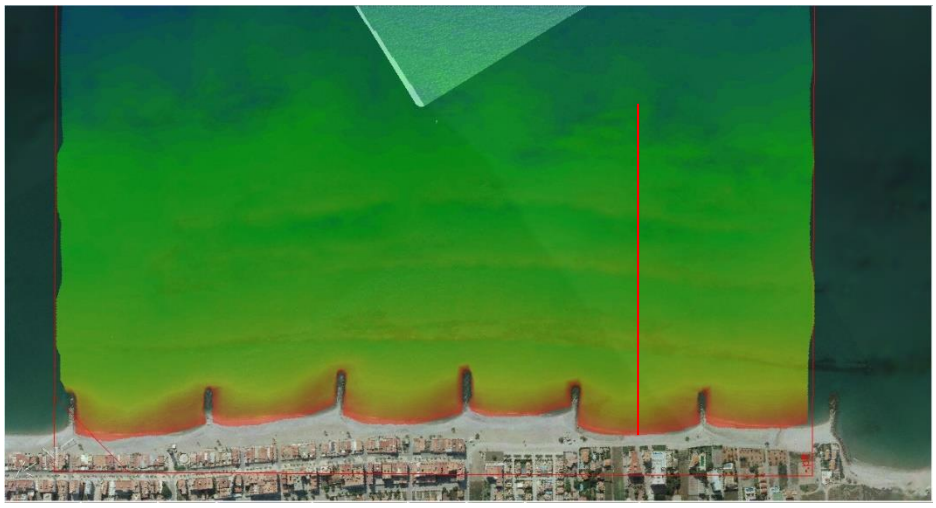


Ilustración 17. Superposición del MDT con transparencia y la imagen aérea
(La línea roja es la sección del perfil transversal que se muestra en la imagen siguiente)

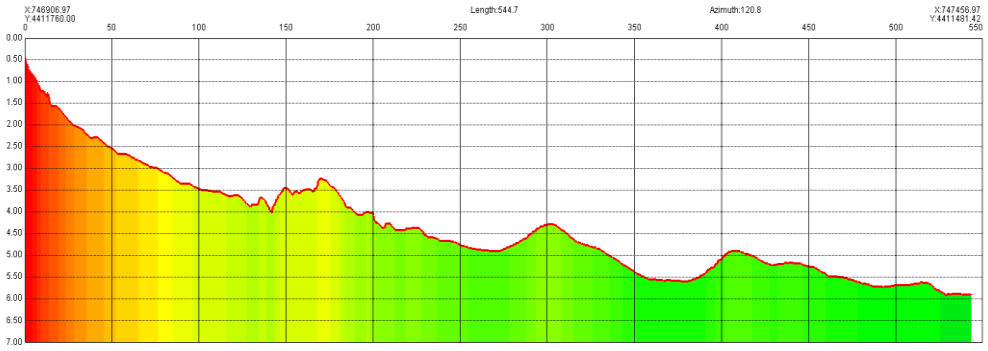


Ilustración 18. Perfil del fondo marino donde se aprecian las tres posibles formaciones geológicas

Cabe destacar que en los registros del ecograma digital, se detectaron ecos en la columna de agua, cerca del fondo, en algunas de estas posibles formaciones geológicas, lo que pudiera tratarse de la presencia de peces atraídos en ese sector.

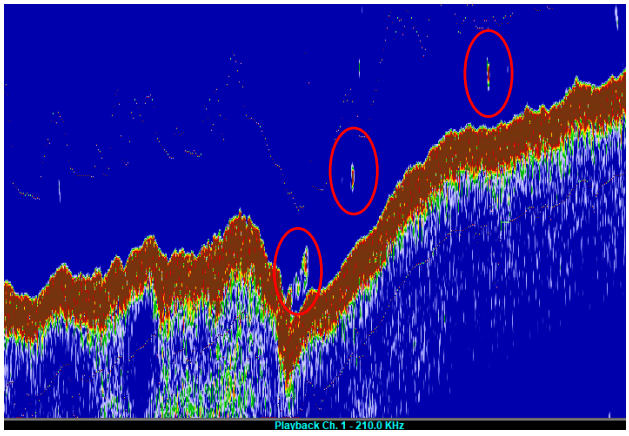


Ilustración 19. Detección de ecos en la columna de agua cerca de las posibles formaciones geológicas

La ejecución del levantamiento topográfico arrojó como resultado la definición de los elementos descriptivos existentes en el área de la playa seca hasta la línea de fachada de las viviendas, asimismo para cada punto levantado se recopilaron las correspondientes coordenadas Norte, Este y altura elipsoidal, referidos al sistema ETRS89 y su consecuente transformación a la altura sobre el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA), esta transformación fue realizada en función de la diferencia entre ambos niveles derivada de la reseña del vértice geodésico de Fonfría, el cual se encuentra a 1Km del área de estudio.

Asimismo, durante la ejecución de la topografía se pudo apreciar en el sector de la playa seca, específicamente en la zona límite del flujo ascendente de la ola y aledaños, la presencia generalizada de áreas con altura considerable, entre 0.5 a 1.0m aproximadamente, de canto rodado pero con rápida variabilidad en su altura y morfología con cada tren de olas que le afectaba, este efecto se presenta mayormente en la sección norte de cada escollera.

Ilustración 20. Presencia de canto rodado en la zona límite del flujo ascendente de la ola en la playa seca

El resultado de ambos levantamientos, batimétrico y topográfico, fue plasmado en un plano a escala 1:2000 por requerimiento del Cliente, para lo cual se realizó una selección de sondas a diferentes escalas (15, 20 y 40m) a fin de no saturar la presentación visual del plano en AutoCAD y ser más práctico para la evaluación y toma de decisiones, sin embargo, se entregan también los archivos digitales con todas las sondas a 5m de separación, asimismo se entrega un archivo en formato pdf que presenta la misma información del archivo de AutoCAD, por ser más práctico de

visualizar y controlar las capas de información sin la necesidad de tener el software AutoCAD instalado en el ordenador.

En este orden de ideas y como parte de los entregables indicados en el Pliego de Condiciones, se consigna el grupo de datos topográficos, batimétricos y el plano, en los formatos ASCII xyz, Shape y dwg, respectivamente.

Adicionalmente se entregan los siguientes anexos como complemento del estudio:

a. Ficha descriptiva del mareógrafo del puerto de Sagunto (IGN)
b. Estadísticas de marea puerto de Sagunto (Puertos de Estado)
c. Descripción de las Referencias del Nivel del Mar (Puertos del Estado)
d. Descripción de la REDMAR (Puertos del Estado)
e. Ficha del vértice geodésico de Fonfría (IGN)
f. Ficha del vértice geodésico de Mascarell (IGN)
g. Ficha de la Estación NTRIP Burriana (ICV)
h. Puntos topográficos recabados en campo
i. Mediciones y comparativa de mareas en Burriana (MSM) y Sagunto (Puertos del Estado)

5. CONCLUSIONES

El servicio de topobatimetría solicitado en el área señalada de la playa de Nules, se cumplió en su totalidad pudiéndose constatar la cobertura de los objetivos específicos planteados:

a. Se efectuó la captura, procesamiento e interpretación de datos batimétricos monohaz en la zona adyacente la Playa de Nules, Provincia de Castellón, Comunidad Valenciana, en función de las especificaciones técnicas del Pliego de Condiciones, complementando además y como valor agregado, la ejecución de las líneas batimétricas de comprobación, de acuerdo a la normativa establecida por la OHI.

b. El procesamiento batimétrico implicó la corrección de las sondas por efecto de la marea, ecos falsos, ecos en la columna de agua, zonas de disturbación acústica e integridad del sistema de posicionamiento.

c. Los resultados de la marea medida en el puerto de Burriana durante el periodo del sondeo versus las mediciones del mareógrafo del puerto de Sagunto

adscrito a Puertos del Estado, constatan que el comportamiento de la sinusoide semi-diurna es como lo esperado en tiempo y amplitud.

d. El levantamiento topográfico abarcó toda el área indicada en las especificaciones del Pliego de Condiciones, recabando la información de coordenadas UTM bajo el sistema ETRS89 y referidas al NMMA, empleando el GNSS en modalidad RTK para todos los elementos notables existentes en la playa seca hasta la línea de fachada.

e. Se recabó información documental de los organismos rectores de cada materia y que sustentan las bases del presente estudio en cuanto a los sistemas de control horizontal y vertical, regímenes de marea y los topónimos empleados.

f. Se presenta con este documento la información digital batimétrica, topográfica y de mareas en los formatos requeridos en el Pliego de Condiciones, así como la información documental recabada en formato pdf, junto con un plano adicional en formato pdf como instrumento para la toma de decisiones.

Escala: 1 cm = 20 metros

25 50 100 150 200 metros

Norte

< 0.00
0.20 - 0.39
0.60 - 0.79
1.00 - 1.19
1.40 - 1.59
1.80 - 1.99
2.20 - 2.39
2.60 - 2.79
3.00 - 3.19
3.40 - 3.59
3.80 - 3.99
4.20 - 4.39
4.80 - 4.79
5.00 - 5.19
5.40 - 5.59
5.80 - 5.99
6.20 - 6.39
6.60 - 6.79
7.00 - 7.19
7.40 - 7.59
7.80 - 7.99
8.20 - 8.39
8.60 - 8.79
9.00 - 9.19
9.40 - 9.59
9.80 - 9.99
10.20 - 10.39
10.60 - 10.79
11.00 - 11.19
11.40 - 11.59
>= 11.80

LEVANTAMIENTO TOPOBATIMÉTRICO

PLAYA DE NULES

CASTELLÓN

ESCALA 1 : 2.000

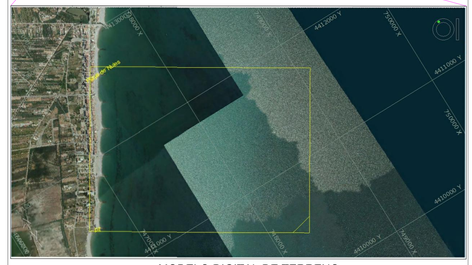
Archivo: Plano Topobatimetría de Nules OCT18 1a2000 rev 0.dwg

CLIENTE

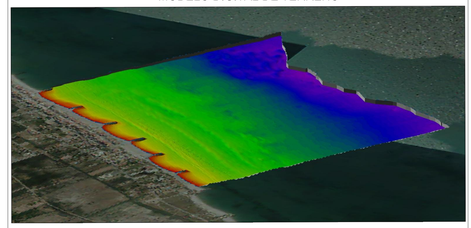
UTE LES MARINES

UBICACIÓN REGIONAL

ÁREA DEL LEVANTAMIENTO



MODELO DIGITAL DE TERRENO



SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA HORIZONTAL

ETRS89

PROYECCIÓN UTM ZONA 30 NORTE

SONDAS EN METROS

Referidas a la Bajamar Máxima Viva Equinoccial (BMVE), conforme con las mediciones de mareas in situ mediante un mareógrafo instalado en el puerto de Burriana durante el levantamiento

COTAS EN METROS

Referidas al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)

RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE REFERENCIA VERTICAL DEL MAREÓGRAFO PRINCIPAL REDMAR MÁS CERCANO: PUERTO DE SAGUNTO
(Serie histórica 2.007 - 2.013)

Máximo nivel observado:	0.54m
Máxima pleamar astronómica:	0.13m
Cero de la REDMAR:	0.0m
Nivel Medio del Mar en Sagunto:	-0.04m
Nivel Medio del Mar en Alicante:	-0.191m
Mínima bajamar astronómica (BMVE):	-0.22m
Mínimo nivel observado:	-0.45m

RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE REFERENCIA VERTICAL DEL MAREÓGRAFO DEL PUERTO PRINCIPAL MÁS CERCANO: PUERTO DE CASTELLÓN
(Medidas respecto al cero del puerto)

Pleamar Máxima Viva Equinoccial:	0.5m
Bajamar Máxima Viva Equinoccial:	-0.2m

LEVANTAMIENTO EFECTUADO POR

MEDITERRÁNEO SEÑALES MARÍTIMAS S.S.L.

DATOS DEL LEVANTAMIENTO

Fecha del Estudio: del 24 de septiembre al 04 de octubre de 2018

Sondeos con Ecosonda Hidrográfico SyQwest HydroBox (210KHz).

Posicionamiento con GNSS RTK Trimble R8 y 5800.

Planificación, ejecución, procesamiento y control de calidad de los datos hidrográficos mediante software hidrográfico Hypack.

LEYENDA

- 3.38 Profundidad referida a la BMVE
- 2.60 Altura sobre el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)
- Rocas de protección de talud
- Escollera
- Escollera degradada
- Linea de costa en bajamar
- Linea de costa en pleamar y olas altas
- Isóbatas
- Canto rodado acumulado
- Arena
- Ducha
- Caminería de madera
- Arbol
- Estructura
- Duna

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

8-sep-2018

Situación Geográfica:

Número: **11260012**

Nombre: **SSMareógrafo Sagunto (f®11260)**

Línea o Ramal: **11260. Ramal Nº 11260 al Mareógrafo de Sagunto**

Municipio: Sagunto/Sagunt

Provincia: Valencia/València

Hoja MTN50: 696

Señal: Secundaria **En posición:** Vertical

Señalizada: 02 de abril de 2009

Nivelada: 02 de abril de 2009

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 3,9593 m.

Geopotencial: 3,8807 u.g.p.

Gravedad en superficie: 980139,96 mgals. *Observada*

Cálculo: 01 de mayo de 2009

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: - 0° 12' 22,2"

Latitud: 39° 38' 02,0"

Altitud elipsoidal:

Precisión: ± (1 m - 10 m.)

Reseña:

Junto a la base del Mareógrafo del puerto de Sagunto.

Observaciones:

Es necesario contactar con la Autoridad Portuaria para que abran la puerta de acceso.
- Fin Ramal Nº 11260.

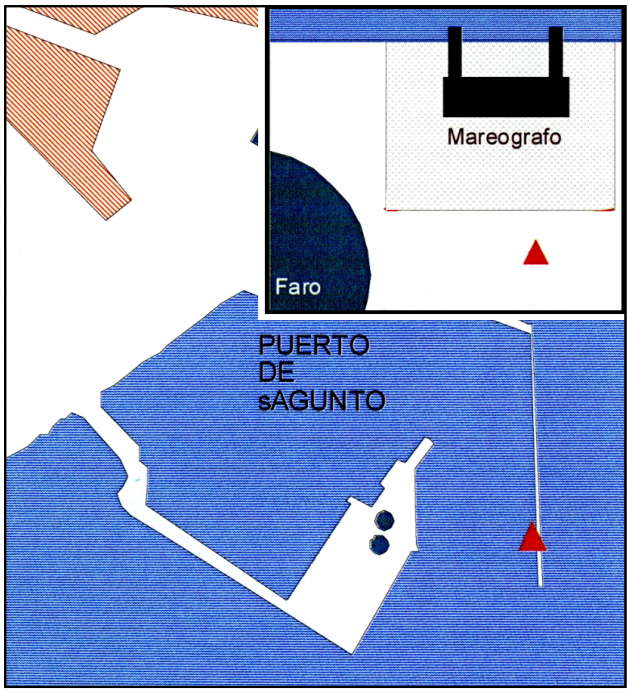
Informe del estado de la Señal en: ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRN.pdf

Enlaces:

Anterior: 11260011 - SSValla

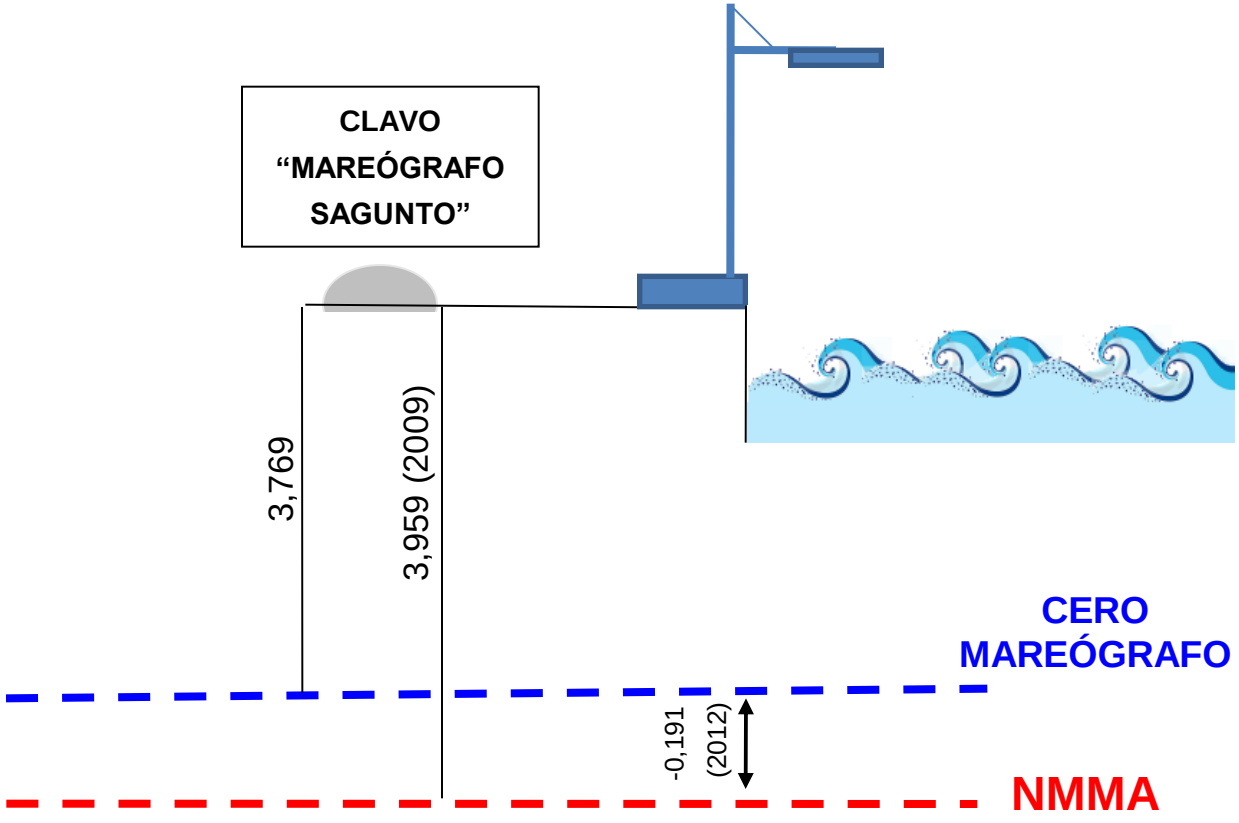
Posterior:

Agrupada con: 11260011 - SSValla.



ESQUEMA DATUM MAREÓGRAFO REDMAR SAGUNTO
(cotas en metros)

CLAVO "MAREÓGRAFO SAGUNTO"



Clavo MAREÓGRAFO SAGUNTO: Clavo metálico incrustado en el cantil junto a la base del Mareógrafo del puerto de Sagunto en el muelle de Levante.

El cero del mareógrafo no corresponde con el Cero del Puerto.

NMMA: Nivel Medio del Mar en Alicante

***Nota**: La posición relativa de Clavo y Mareógrafo está simplificada. **NMMA**: Cero IGN*

REDMAR

RED de MAReógrafos de Puertos del Estado

Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria

Puerto de Sagunto

(Datos registrados hasta **2013**)

Área de Medio Físico

8 de octubre de 2014

Dirección Técnica - **Puertos del Estado**

Índice

Página

1. Introducción **5**
1.1. Antecedentes de la REDMAR 6
1.2. La REDMAR en la actualidad. Proceso de renovación de estaciones. . . . 7
1.3. Construcción de la serie histórica a partir del mareógrafo antiguo y el nuevo 8

2. Series de nivel del mar **9**
2.1. Serie histórica de nivel del mar observado 9
2.2. Serie de bajamares observadas 9
2.3. Serie de pleamares observadas 10
2.4. Serie de mínimos observados 10
2.5. Serie de máximos observados 10
2.6. Serie de nivel horario observado 10
2.7. Serie de nivel medio mensual 10
2.8. Serie de carreras de marea observadas 10
2.9. Series de pleamares/bajamares astronómicas 11
2.10. Serie de nivel horario astronómico 11
2.11. Serie de residuos meteorológicos horarios 11

3. Descripción de los parámetros y análisis incluidos en este informe **11**
3.1. Establecimiento de puerto 12
3.2. Referencias de nivel del mar 12
3.3. Estadística de pleamares y bajamares 15
3.4. Componentes de nivel del mar 15
3.5. Régimen medio y percentiles 16
3.6. Históricos de extremos observados 17
3.7. Medias mensuales y tendencia 17

4. Tendencias anuales para toda la red **18**

5. Resumen de parámetros del puerto **23**
Construcción de la serie histórica 23
Ceros de las medidas 23
Referencias de nivel del mar 26
Componentes de nivel del mar 27
Régimen medio y percentiles 28
Medias mensuales 30

Referencias **31**

1. Introducción

Este informe presenta como producto de la RED de MAREógrafos de Puertos del Estado (REDMAR), un compendio único y fácilmente actualizable de varios parámetros derivados de las medidas registradas por los mareógrafos de la red, relacionados con la marea y el nivel del mar en los puertos, y de gran interés y aplicación tanto en la fase de diseño como durante la ejecución de obras o la explotación y planificación portuaria. Este informe está disponible en dos versiones: informe global para toda la REDMAR o bien informes individuales por puerto.

Con respecto a la primera edición de Febrero de 2005 [1], se han incluido nuevos parámetros y modificado los formatos de presentación. Además, con la automatización de su generación, se facilita la posibilidad de editar una nueva versión anualmente, en las que los parámetros presentados sean cada vez más robustos conforme crezca la longitud de las series históricas de nivel del mar disponibles. Se han excluido los parámetros relativos al régimen de extremales en esta edición, pero se incluirá esta información en la siguiente. Asimismo, los parámetros de las funciones de distribución acumulada de los productos más relevantes de nivel del mar, también serán incluidos en el futuro.

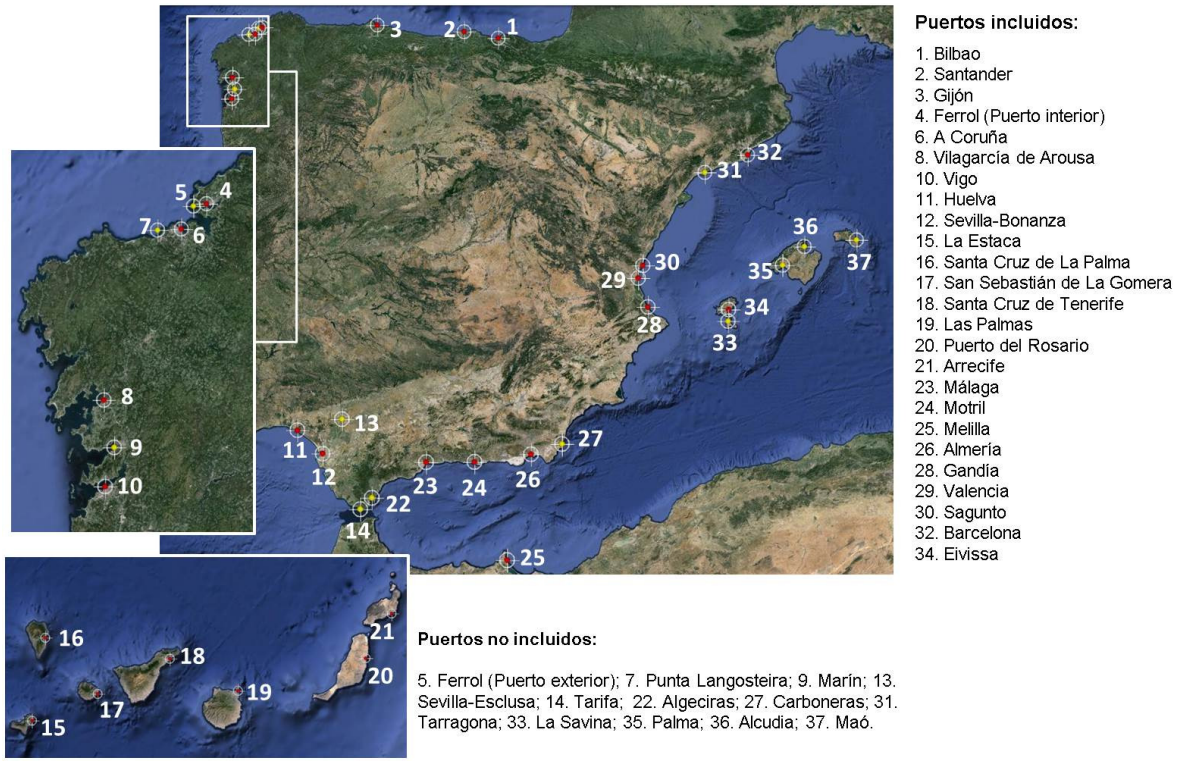


Figura a. Puertos con estaciones pertenecientes a la REDMAR. Los puertos con marca de posición roja están incluidos en este informe, por disponer de series históricas de, al menos, cinco años de datos, mientras que las marcas de posición amarillas corresponden a estaciones más recientes que se incluirán en próximas ediciones.

Debido al carácter de los parámetros publicados, que requieren la disponibilidad de series históricas de cierta longitud, este informe sólo incluye los puertos con series históricas de nivel del mar de la REDMAR con un mínimo de 5 años de datos. En la **Figura a** se muestran los puertos incluidos en la presente edición. La información relevante de los datos de estaciones más recientes se publica en los informes anuales de la REDMAR.

1.1. Antecedentes de la REDMAR

La REDMAR surgió como respuesta a la necesidad de disponer de una red de medida de nivel del mar que permitiera la consulta del dato en tiempo real por parte de los usuarios del puerto y la generación de series largas de nivel del mar. Tras los estudios pertinentes para la selección de la tecnología más adecuada, la adquisición por parte de los puertos de los equipos correspondientes y la fase inicial de pruebas, en julio de 1992 comenzó el almacenamiento sistemático de los datos registrados por los primeros mareógrafos acústicos (SRD: *Sonar Research & Development*) instalados en 14 puertos del sistema portuario estatal. El Área de Medio Físico de Puertos del Estado gestiona el funcionamiento de la red y se encarga del control de calidad, proceso y almacenamiento de los datos en su Base de Datos, así como de la difusión de los datos e información derivada a través de la página web de Puertos del Estado (sistema Portus). Además, hoy en día los datos se difunden a través de dispositivos móviles también desde Puertos del Estado (aplicación IMAR) y se re-envían a centros internacionales de datos para variadas aplicaciones (alertas de nivel del mar y tsunamis, oceanografía operacional o estudios de cambio climático). Dentro de las aplicaciones de interés más inmediato para los puertos, se encuentra la utilización de los datos de nivel del mar en tiempo real para la realización de dragados o para la navegación en el interior de algunos puertos. Además, las series históricas que la red de mareógrafos proporciona, producto principal en el que se basa este informe, permiten afrontar los siguientes estudios:

- Realización de análisis extremales y regímenes medios que sirven de referencia a la hora de proyectar una obra en la costa.
- Seguimiento del cero del puerto o nivel de referencia.
- Obtención de constantes armónicas más precisas para la realización de las tablas de marea (o predicción de marea astronómica).
- Conocimiento de la componente meteorológica del nivel del mar en caso de tormenta.
- Estudio de la evolución del nivel medio del mar.
- Calibración de modelos numéricos de corrientes y mareas.
- Calibración de datos de altimetría espacial.

1.2. La REDMAR en la actualidad. Proceso de renovación de estaciones.

En 2001 surgió la necesidad de sustituir los equipos originalmente instalados, debido al anuncio del cese de su fabricación por parte del fabricante SRD. Además, fue necesario ampliar el número de estaciones entre 2001 y 2004, sin que todavía se hubiese decidido qué tipo de equipo sustituiría a los originales. Así, las estaciones incorporadas en esta etapa (Hierro, Granadilla, Arinaga, Fuerteventura, Ibiza, Huelva3 y Huelva4) se basaron en sensores de presión de Aanderaa, autocompensados de presión atmosférica. Estas estaciones se establecieron de manera provisional por su bajo coste, a pesar de las dificultades de mantenimiento y su baja precisión, mientras se buscaba el tipo de sensor definitivo.

Paralelamente, se emprendieron en 2002 los trabajos de intercomparación que permitirían decidir qué tipo de mareógrafo sustituiría a los SRD iniciales una vez llegaran el final de su vida útil. Esta intercomparación se realizó en Vilagarcía de Arousa y Almería y sus resultados estuvieron disponibles y publicados en 2005 [2]. Dos eventos determinaron los requerimientos de los futuros mareógrafos: el primero fue la aparición de mareógrafos de radar (en lugar de acústicos), más fiables y precisos que los sensores acústicos y de presión disponibles hasta la fecha, y que presentaban además la ventaja de que no necesitaban medir en el interior de un tubo (instalación y mantenimiento más fácil); el segundo, el tsunami de baja intensidad que afectó en 2003 a las Islas Baleares, cuya amplitud fue infraestimada por el intervalo de muestreo de 5 min de los mareógrafos de la REDMAR existentes en ese momento, y que planteó la necesidad de un intervalo de muestro inferior como un requisito fundamental para poder monitorizar fenómenos de alta frecuencia (tsunamis, "secas", resonancias o "rissagas"). Casualmente, el tsunami de 2004 en el Océano Índico, un año después, extendió este requisito a todas las redes de mareógrafos del mundo.

Como resultado de dichos experimentos se escogieron los mareógrafos MIROS basados en tecnología radar de barrido de frecuencias como los más indicados para los nuevos objetivos de la REDMAR. Este mareógrafo tiene alta precisión en las medidas individuales y permite seleccionar el intervalo de muestro (1 minuto o menor). Su intervalo de muestro original de 2Hz permite estimar además parámetros de oleaje y agitación. Aunque en la actualidad todos los mareógrafos de la REDMAR transmiten datos con intervalo de muestreo de 1 minuto, este informe, por estar centrado en las variaciones más lentas del nivel del mar, parte de los datos promediados cada 5 minutos.

El primer mareógrafo radar MIROS de la REDMAR se instaló en 2006 en el puerto de Almería. Desde entonces, de manera progresiva, se han ido reemplazando los equipos SRD y sensores de presión Aanderaa de la red original por estos nuevos equipos, los únicos integrados en la REDMAR en la actualidad (a pesar de que algunos puertos han decidido mantener hasta su fallo definitivo los equipos antiguos). Desde 2007 se han incorporado además muchas nuevas estaciones (ya basadas en MIROS) que han

completado y mejorado enormemente la cobertura espacial de la red. Para garantizar la continuidad de las series históricas, el proceso de renovación ha requerido el funcionamiento simultáneo de la estación vieja y la nueva durante un periodo de al menos un año. Esto se ha cumplido y superado en casi todas las estaciones, salvo alguna excepción donde ha sido necesario desmantelar la vieja antes, debido a obras en el puerto, o donde el equipo viejo dejó de funcionar antes de completarse el año. Además, en varias ocasiones la renovación ha supuesto la reubicación de la nueva estación en otro muelle, lo que ha requerido la realización de una nivelación de alta precisión entre las dos estaciones (en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional).

Actualmente la REDMAR está constituida por 37 estaciones dotadas de mareógrafos de radar MIROS (**Figura a**). Dos estaciones de los puertos que se incorporaron a la red con sensores de presión (Arinaga y Granadilla) no han sido renovadas y no están integradas en este momento en la REDMAR, aunque su funcionamiento y mantenimiento sigue a cargo de las correspondientes Autoridades Portuarias de Las Palmas y Tenerife.

1.3. Construcción de la serie histórica a partir del mareógrafo antiguo y el nuevo

Uno de los retos más importantes de la renovación de la REDMAR ha sido compatibilizar la mejora sustancial en la calidad del dato, la mejor monitorización de fenómenos de alta frecuencia y la inmediatez en la recepción del dato para sistemas de alerta, con el mantenimiento de una serie de nivel del mar histórica coherente y de calidad. Esto ha sido difícil porque el cambio de tecnología implica diferencias en la precisión de los datos y porque, además, el cambio de ubicación puede ocasionar diferencias adicionales entre estaciones dentro de un mismo puerto. Este hecho ha provocado el retraso en la publicación de informes consolidados de las series históricas hasta el actual.

Por esta razón, se realizó un estudio de comparación exhaustivo para toda la red, a partir de los periodos de funcionamiento simultáneo entre las estaciones viejas y las nuevas [3]. Como resultado de ese estudio, se encontraron las fuentes de error o diferencias fundamentales y, según su impacto en los productos finales que se incluyen en este informe, se adoptaron decisiones a la hora de construir una única serie histórica de nivel del mar en cada puerto, combinando la información del equipo antiguo y el nuevo. En la presentación de los resultados para cada puerto, se describirá brevemente la composición de la serie histórica, así como los problemas de funcionamiento más relevantes detectados durante la inter-comparación. Algunos de los errores encontrados han sido corregidos gracias a este trabajo de inter-comparación.

Es importante destacar que las variaciones del nivel del mar de bajo periodo (especialmente la variación del nivel medio a lo largo de los años), son de muy pequeña magnitud (mm o cm por año) y, por tanto, muy sensibles a cualquier cambio, incidencia o problema temporal en la estación. Para garantizar mínimamente su fiabilidad es necesario

disponer del mayor número de estaciones en una zona geográfica determinada e incluso utilizar información adicional como la proporcionada por los satélites o los modelos numéricos. Cada cierto número de años se puede realizar de esta forma un control de calidad exhaustivo que permita detectar los errores más sutiles, no detectados en los controles automáticos en tiempo real o en los controles anuales. Este control de calidad se ha realizado en la REDMAR y por ello, por primera vez, se publican valores sobre estas variaciones lentas que, no obstante, han de ser interpretadas siempre con cautela y que serán revisadas en años sucesivos a medida que se disponga de mayor número de años con datos.

2. Series de nivel del mar

A continuación se describen las series a partir de las cuales se calculan los parámetros de nivel del mar presentados en este informe. Se diferencian principalmente dos grupos según el origen del dato: series construidas a partir de **niveles observados** o bien series construidas a partir de la **predicción de la marea astronómica**.

Las primeras, al ser observaciones del nivel del mar real, contienen información no sólo de la marea astronómica, sino también de otros efectos como la meteorología (acción de la presión atmosférica y el viento) o las variaciones en la densidad del agua. Las segundas son series teóricas y sólo incluyen la componente de variación de nivel del mar debida al efecto de la marea astronómica. De manera análoga, los parámetros extraídos de cada tipo de serie, reflejarán la información contenida en los datos de partida.

2.1. Serie histórica de nivel del mar observado

La serie histórica de nivel del mar observado contiene las medidas registradas por los mareógrafos de la REDMAR, una vez los datos brutos han pasado un control de calidad que principalmente depura errores, interpola datos erróneos y huecos de longitud menor a un intervalo prefijado [4]. La serie resultante es la serie de partida para todos los análisis posteriores y contiene datos cada 5 minutos exactamente. Este intervalo de muestreo es el más bajo de las series históricas de la REDMAR. Hoy en día, los nuevos mareógrafos proporcionan además, datos cada 2 Hz y cada minuto, incluyendo así información de fenómenos de alta frecuencia que no se contemplan en los análisis de este informe.

Si en el puerto se ha producido un cambio de mareógrafo, la serie histórica se construye a través de la consolidación de las series del mareógrafo original y el nuevo, como se explica en la sección *Construcción de la serie histórica* de cada puerto.

2.2. Serie de bajamares observadas

La serie de bajamares observadas contienen un registro del nivel del mar mínimo observado en una ventana temporal de 60 minutos en torno a la hora de cada una de las 2 bajamares diarias previstas. Consta por tanto de dos niveles por día y se obtiene a

partir de la serie histórica de nivel del mar observado en los puertos con un rango mareal típico ampliamente superior a los 50 cm.

2.3. Serie de pleamares observadas

La serie de pleamares observadas contiene un registro del máximo nivel del mar observado en una ventana temporal de 60 minutos en torno a la hora de cada una de las 2 pleamares diarias previstas. Consta por tanto de dos niveles por día y se obtiene a partir de la serie histórica de nivel del mar observado en los puertos con un rango mareal típico ampliamente superior a los 50 cm.

2.4. Serie de mínimos observados

La serie de mínimos observados contiene un registro del mínimo nivel del mar registrado diariamente. Consta por tanto de un nivel por día y se obtiene a partir de la serie histórica de nivel del mar observado en los puertos con un rango mareal típico por debajo, aproximadamente, de los 50 cm.

2.5. Serie de máximos observados

La serie de máximos observados contiene un registro del nivel del mar máximo registrado diariamente. Consta por tanto de un nivel por día y se obtiene a partir de la serie histórica de nivel del mar observado en los puertos con un rango mareal típico por debajo, aproximadamente, de los 50 cm..

2.6. Serie de nivel horario observado

La serie de nivel horario observado se obtiene aplicando un filtro simétrico de 54 puntos a la serie histórica de nivel del mar observado [5]. Al eliminar la energía de frecuencias altas presente en los datos de 5 minutos, las constantes armónicas resultantes del análisis armónico de esta serie de datos horarios, no se ven perturbadas por esta energía.

2.7. Serie de nivel medio mensual

A partir de la serie de nivel horario observado, se calcula la serie de nivel medio diario eliminando las componentes diurna y semidiurna y aplicando a continuación un filtro de 119 puntos centrado en el mediodía [6]. Finalmente, la serie de niveles medios mensuales se calcula mediante la media aritmética de los niveles medios diarios del mes correspondiente, descartando el cálculo del nivel medio de un mes si hay más de 7 días sin datos.

2.8. Serie de carreras de marea observadas

La serie de carreras de marea observadas se construyen a partir de las diferencias entre pleamares y bajamares consecutivas. Esta serie contiene entonces 3 o 4 puntos por día y

se obtiene a partir de la series de pleamares y bajamares observadas en los puertos con un rango mareal típico ampliamente superior a los 50 cm.

2.9. Series de pleamares/bajamares astronómicas

A partir de las constantes armónicas obtenidas del análisis armónico de, al menos, los últimos 5 años de la serie de nivel horario observado, se realiza una predicción de 19 años de la serie de pleamares y otra de la serie de bajamares. Con una serie de esta longitud, se incluyen los 18.6 años que dura el ciclo nodal de la Luna y por tanto se cubren en ella todas las amplitudes y fases de la marea astronómica. El período de predicción utilizado coincide con el definido por el Instituto Hidrográfico de la Marina: de 1990 a 2009.

2.10. Serie de nivel horario astronómico

A partir de las constantes armónicas obtenidas del análisis armónico de, al menos, los últimos 5 años de la serie de nivel horario observado, se realiza, para el mismo período de datos de la serie de nivel horario observado, una predicción de la serie de nivel horario.

2.11. Serie de residuos meteorológicos horarios

Series de variación del nivel del mar tras eliminar la marea astronómica. Se obtiene a partir de la diferencia entre la serie de nivel horario observado y la serie de nivel horario astronómico. Se suele llamar residuo o marea meteorológica porque está fundamentalmente asociada a la acción de la presión atmosférica y el viento. También contiene otros efectos como son las variaciones de densidad del agua (componente estérica) y, en definitiva, todos aquellos que no tienen una clara componente armónica asociada a un período determinado.

3. Descripción de los parámetros y análisis incluidos en este informe

En este informe se presenta un resumen de parámetros de nivel del mar referidos al cero REDMAR, que se consideran fundamentales para el diseño, ejecución de obras y la explotación portuaria. En los siguientes apartados, se describen los parámetros incluidos resultantes del análisis del nivel del mar registrado por los mareógrafos y del análisis de la predicción de la marea astronómica.

Antes de detallar la información presentada, conviene aclarar que el regimen de mareas a lo largo de la costa española es muy variado y, por tanto, no se puede realizar un tratamiento totalmente homogéneo de las series de la REDMAR. En puertos con un rango mareal del orden del metro o inferior (zona de Alborán y Mediterráneo), la contribución de la meteorología a la energía del nivel del mar observado es comparable a la de la marea astronómica, como podrá verse en la sección *Componentes de nivel del mar* de estos puertos. Bajo este tipo de regimen, es esperable que los máximos y

mínimos niveles observados se desvíen ampliamente de los extremos de las predicciones astronómicas (máxima pleamar astronómica y mínima bajamar astronómica), pudiendo incluso producirse un máximo diario en el entorno temporal de una bajamar astronómica. En contraposición a esta situación, en puertos fuertemente dominados por la marea astronómica (zona Atlántica), la desviación de los extremos observados es un pequeño porcentaje de los extremos (pleamares y bajamares) previstos con una predicción de marea astronómica.

Por esta razón, se presenta en este informe una estadística del ciclo de mareas vivas y muertas únicamente para los puertos de la costa Atlántica, donde la carrera de la marea es significativamente superior a la variación meteorológica. En la zona de Alborán, el ciclo de mareas vivas y muertas está muy influenciado ya por la meteorología, por lo que se presenta solo una estadística de las pleamares y bajamares (ciclos semidiurno/diurno) observadas. Finalmente, a medida que nos desplazamos hacia el Norte en la costa Mediterránea y la marea se hace cada vez más insignificante, la imposibilidad de distinguir claramente entre pleamares y bajamares nos obliga a presentar, alternativamente, tan solo una estadística de los máximos y mínimos observados diarios. Mención especial se debe hacer de la estación de Bonanza, en la desembocadura del Guadalquivir: aunque la marea es importante, las crecidas del río Guadalquivir en esta estación pueden también conducir a extremos no coincidentes con la pleamar/bajamar viva (luna llena o luna nueva); por esta razón se observa en este caso una pleamar máxima superior a la máxima pleamar viva.

Estas diferencias significativas en la variabilidad del nivel del mar a lo largo de la costa española aparecen claramente reflejadas en los histogramas de pleamares/bajamares (máximos/mínimos), observándose un claro solapamiento entre las colas de unas y otras en los puertos del Mediterráneo, hasta el punto de quedar el nivel medio del mar encerrado en el rango de variabilidad de las mismas.

3.1. Establecimiento de puerto

Este parámetro, también denominado intervalo medio de pleamar (*high water lunitidal interval*), corresponde al tiempo medio transcurrido entre el tránsito de la Luna por el meridiano local y la siguiente pleamar. Se obtiene a partir de la fase del armónico M2 (período 12.432 horas) para aquellos puertos con marea semidiurna.

3.2. Referencias de nivel del mar

Los niveles del mar y alturas de marea de referencia obtenidas a partir de los datos históricos disponibles para cada puerto, se representan en un diagrama que permite visualizar la variabilidad del nivel del mar en cada uno, a través de su representación a escala.

Todos los niveles y alturas se muestran en centímetros y están referidas al cero del mareógrafo (cero REDMAR), que es, normalmente, el cero del puerto. La posición del cero o referencia de las medidas está en ocasiones por encima del nivel registrado, resultando en la aparición ocasional de registros negativos. Este hecho ha llevado en algunos casos a la redefinición por parte del puerto de su cero, para que no se quede en seco. Tal es el ejemplo del puerto de Las Palmas, que decidió adoptar una nueva referencia el 21 de mayo de 2004, 17 cm por debajo de su cero original.

La posición del clavo de referencia o señal geodésica más cercana al mareógrafo, que se denomina de manera genérica TGBM (*Tide Gauge Benchmark*) está referenciada en el diagrama con respecto al cero del mareógrafo. El nombre, la localización y relación del clavo de referencia del mareógrafo con otras referencias está esquematizada en la sección *Ceros de las medidas* de cada puerto. En [7] pueden consultarse la definición de los diferentes niveles de referencia de nivel del mar empleadas en este informe.

Se incluyen en este esquema:

- **Clavo de referencia más cercano (TGBM):** nombre del clavo del mareógrafo o señal más cercana y altura respecto al cero REDMAR o cero del mareógrafo.
- **Máximo nivel observado:** máximo nivel de la serie histórica de nivel observado.
- **Mínimo nivel observado:** mínimo nivel de la serie histórica de nivel observado.
- **Nivel medio del mar (NMM):** se obtiene como la media aritmética de los niveles medios anuales disponibles hasta la fecha obtenidos para la REDMAR y presentados en los informes anuales. La descripción del cálculo de estas medias anuales puede consultarse en dichos informes.
- **Pleamar viva media observada ($\mathbf{PMVM^O}$):** se obtiene como la media aritmética de todas las pleamares vivas de la serie de pleamares observadas (mareas de máxima amplitud coincidiendo con la luna llena o luna nueva). Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).
- **Pleamar muerta media observada ($\mathbf{PMMM^O}$):** se obtiene como la media aritmética de todas las pleamares muertas de la serie de pleamares observadas (mareas de mínima amplitud coincidiendo con la luna en cuarto menguante o cuarto creciente). Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).
- **Bajamar viva media observada ($\mathbf{BMVM^O}$):** se obtiene como la media aritmética de todas las bajamares vivas de la serie de bajamares observadas (mareas de máxima amplitud coincidiendo con la luna llena o luna nueva). Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).
- **Bajamar muerta media observada ($\mathbf{BMMM^O}$):** se obtiene como la media aritmética de todas las bajamares muertas de la serie de bajamares observadas (mareas de mínima amplitud coincidiendo con la luna en cuarto menguante o cuarto creciente). Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).

- **Máxima pleamar astronómica (PMMA):** máxima pleamar prevista en un período de 19 años. Es el máximo nivel de la serie de pleamares astronómicas .

- **Mínima bajamar astronómica (BMMI):** mínima bajamar prevista en un período de 19 años. Es el mínimo nivel de la serie de bajamares astronómicas.

- **Carrera máxima:** carrera máxima de la serie de carreras de marea observadas. Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).

- **Carrera media:** media aritmétrica de la serie de carreras de marea observadas. Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).

- **Carrera mínima:** carrera mínima de la serie de carreras de marea observadas. Aplicable únicamente a puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos).

En este punto es importante enfatizar que los niveles o carreras calculadas a partir de series basadas en observaciones encierran no sólo la componente de marea, sino también los demás forzamientos (como la meteorología o los cambios de densidad el agua). Por el contrario, la máxima pleamar astronómica y la mínima pleamar astronómica, obtenidas de la simulación de un ciclo nodal de alturas de marea astronómica, únicamente dan cuenta de la componente de marea astronómica en el nivel del mar.

Otras instituciones a nivel nacional e internacional utilizan estas definiciones de referencias verticales para diferentes aplicaciones. En algunos casos se emplean para su cálculo series de niveles observados, mientras que en otros, sobre todo debido a limitaciones en la longitud de las series observadas disponibles, se emplean las predicciones de marea astronómica para calcularlas. En ambos casos el concepto detrás de cada altura es el mismo.

Tanto la máxima pleamar como la mínima bajamar astronómica (en inglés HAT-*Highest Astronomical Tide* y LAT-*Lowest Astronomical Tide*) están por definición calculadas sobre predicciones de marea astronómica, por lo que escapan a esta ambigüedad.

En la **Tabla a** se pretende aclarar el origen de las distintas alturas de pleamares y bajamares según se definen en este informe (PdE) y en otras instituciones (IHM-Instituto Hidrógráfico de la Marina, otros: otros organismos internacionales). El superíndice de cada sigla indica si la altura ha sido definida a partir de un registro de nivel observado (O) o bien a partir de una serie teórica de marea astronómica (A). Es interesante resaltar que las alturas de marea que el Insituto Hidrogŕafico de la Marina publica en su Anuario de Mareas se calculan a partir de la marea astronómica, mientras que a nivel internacional, la naturaleza de los datos de origen es variable según la disponibilidad de datos o aplicación, por lo que no se especifica en esta tabla.

	PdE	**IHM**	**otros**
Pleamar Viva Media	$PMVM^{O}$	$PMVM^{A}$	MHWS
Pleamar Muerta Media	$PMMM^{O}$	$PMMM^{A}$	MHWN
Bajamar Muerta Media	$BMMM^{O}$	$BMMM^{A}$	MLWN
Bajamar Viva Media	$BMVM^{O}$	$BMVM^{A}$	MLWS

Tabla a. Cálculo de alturas de pleamares y bajamares según diferentes organismos. El superíndice de cada sigla indica si la altura ha sido calculada a partir de niveles observados (O) o a partir de predicciones de marea astronómica (A). Las siglas indican las siguientes alturas: PMVM - Pleamar Viva Media; PMMM - Pleamar Muerta Media; BMMM - Bajamar Muerta Media; BMVM - Bajamar Viva Media; MHWS - *Mean High Water Springs*; MHWN - *Mean High Water Neaps*; MLWN - *Mean Low Water Neaps*; MLWS - *Mean Low Water Springs*.

3.3. Estadística de pleamares y bajamares

Los descriptores estadísticos básicos (máximo, mínimo, media y desviación estándar) de las series de pleamares y bajamares observadas y astronómicas de aquellos puertos con un rango mareal muy amplio (puertos atlánticos), se presentan en esta sección en una tabla en centímetros respecto al cero REDMAR.

Estos estadísticos se han calculado tanto para las series completas como para las series derivadas de seleccionar las pleamares y bajamares conicidentes con las fases de la luna que generan las mareas vivas y muertas, como se indica a continuación:

- **Pleamar:** estadísticos de las series completas de pleamares (observadas y astronómicas).
- **Bajamar:** estadísticos de las series completas de bajamares (observadas y astronómicas).
- **Pleamar viva:** estadísticos de aquellas pleamares de las series de pleamares (observadas y astronómicas) coincidentes con luna llena o nueva.
- **Bajamar viva:** estadísticos de aquellas bajamares de las series de bajamares (observadas y astronómicas) coincidentes con luna llena o nueva.
- **Pleamar muerta:** estadísticos de aquellas pleamares de las series de pleamares (observadas y astronómicas) coincidentes con luna en cuarto creciente o menguante
- **Bajamar muerta:** estadísticos de aquellas bajamares de las series de bajamares (observadas y astronómicas) coincidentes con luna en cuarto creciente o menguante

3.4. Componentes de nivel del mar

Este apartado muestra, en puntos porcentuales, las **distribuciones de frecuencia relativa** del **nivel** del mar y de las dos componentes en las que se descompone: **marea astronómica** y **residuo**. Estas distribuciones se extraen, respectivamente, de la serie de nivel horario observado, de la serie de nivel horario astronómico y de la de residuos

meteorológicos horarios. Únicamente contribuyen a este cálculo los datos de años cuya cobertura alcance el 75 % de datos. La unidad es, en todos los casos, el centímetro.

La comparación entre los gráficos de las distribuciones de las tres variables, permite obtener visualmente una idea de la contribución relativa de cada una de las dos componentes (marea y residuo) a la variabilidad total del nivel del mar en el puerto.

Tal y como se explica en *Serie de residuos meteorológicos horarios*, el residuo incluye fundamentalmente efectos de la presión atmosférica o el viento, por lo que se le suele llamar marea meteorológica. Sin embargo, también contiene otros efectos como la componentes estérica, la variación (a largo plazo) del nivel medio del mar y, en definitiva, todos aquellos que no tienen una clara componente armónica asociada a un período determinado.

3.5. Régimen medio y percentiles

En esta sección se presenta el comportamiento medio del nivel del mar y el residuo en el puerto a través de la distribución de frecuencias de las bajamares y pleamares observadas (o bien mínimos y máximos diarios en el caso de rangos mareales inferiores, aproximadamente, a los 50 cm), los niveles horarios observados y el residuo. Se incluyen también los momentos muestrales de las bajamares (o mínimos) y pleamares (o máximos) observadas. Esta información se resume en las siguientes tablas y figuras:

- El gráfico de **histogramas de pleamares y bajamares (o mínimos y máximos)** presenta la distribución de frecuencia relativa de las series de bajamares (mínimos) observadas y de las series de pleamares (máximos) observadas en puntos porcentuales. La unidad de nivel de mar en este caso es el metro. Los histogramas se han calculado para cada serie por separado y se representan en el mismo gráfico para facilitar su intercomparación.

- Las tablas de **estadísticas de bajamares (mínimos) y estadísticas de pleamares (máximos)** recogen los extremos (mínimo, máximo) y momentos muestrales de las series de bajamares (mínimos) observadas y de la series de pleamares (máximos) observadas.

- Los gráficos de **percentiles de bajamares y pleamares observadas** presentan los percentiles de las series de bajamares observadas y de las series de pleamares observadas. Esta información sólo se presenta para puertos con rangos mareales muy amplios. Estos gráficos se acompañan con las tablas de percentiles correspondientes. La unidad de nivel del mar es el metro y representan el porcentaje de pleamares o bajamares por debajo de un nivel dado en cada serie.

- En el gráfico de **percentiles de la serie de nivel horario observado** se presenta, en puntos porcentuales, la distribución de frecuencias relativas acumuladas de la serie de nivel horario observado. Este gráfico se acompaña con la tabla de percentiles correspondiente. La unidad de nivel del mar es el metro y representan el porcentaje de niveles horarios de la serie por debajo de un nivel dado.

- En el gráfico de **percentiles de la serie de residuo meteorológico** se observa, en puntos porcentuales, la distribución de frecuencias relativas acumuladas de la serie de residuos meteorológicos horarios. Este gráfico se acompaña con la tabla de percentiles correspondiente. La unidad de residuo es el metro y representan el porcentaje de residuos de la serie por debajo de un residuo dado.

3.6. Históricos de extremos observados

Se muestra aquí el comportamiento histórico de los extremos y variabilidad del nivel del mar y residuo para series de más de 8 años de datos:

- Para el **nivel observado** se muestra, en el primer gráfico, la evolución de los extremos de nivel del mar a través del máximo, mínimo y percentiles 95 y 5 anuales, calculados a partir de la serie histórica de nivel del mar observado (datos cada 5 minutos). En el segundo, se observa la evolución temporal de la dispersión de esta serie, a través de la desviación estándar anual de la misma.

- De la misma forma, para el **residuo meteorológico** se muestra, en el primer gráfico, la evolución de sus extremos a través del máximo, mínimo y percentiles 95 y 5 anuales, calculados a partir de la serie de residuos meteorológicos horarios. En el segundo, se observa la evolución temporal de la dispersión de esta serie, a través de la desviación estándar anual de la misma.

En ambos casos se muestran únicamente los años cuya cobertura alcance el 75 % de datos.

3.7. Medias mensuales y tendencia

La serie de nivel medio mensual disponible para cada puerto se representa en una gráfica en esta sección. Las unidades de nivel medio son centímetros y está referido al cero REDMAR.

Se indica además sobre este gráfico el cambio de mareógrafo en el caso de estaciones cuya serie sea la consolidación de las series de dos equipos diferentes. En próximas ediciones, se indicarán además, los eventos que pueden afectar a la serie en términos de calidad. Si bien el impacto de estas incidencias es en todo caso estudiado y minimizado, se considera que esta información será de utilidad para el usuario de los datos. Ejemplos de estos eventos son cambios de localización del mareógrafo o accidentes que pueden afectar al cero del mareógrafo.

Cuando la serie histórica disponible es lo suficientemente larga (se ha establecido un mínimo de 9 años), se calcula además, sobre la serie de nivel medio mensual, la tendencia del nivel del mar. El error asociado al cálculo de la tendencia está directamente relacionado con la longitud de la serie disponible, por lo que es fundamental leer el valor de la tendencia anual junto con el error, proporcionados ambos sobre el gráfico de medias

mensuales. El índice de completitud (C.I.) indica, además, el porcentaje de datos disponibles de todo el período analizado, es decir, da una idea del porcentaje de huecos en la serie de nivel medio mensual (100 - C.I.). En la sección *Tendencias anuales para toda la red* de este informe se dan más detalles sobre el cálculo de la tendencia y la incertidumbre en su cálculo.

4. Tendencias anuales para toda la red

En todos los puertos con series históricas REDMAR de un mínimo de nueve años de longitud, se ha calculado la tendencia del nivel del mar. El cálculo de la tendencia se realiza mediante ajuste por máxima verosimilitud de la serie de medias mensuales observadas a una recta. La incertidumbre asociada a la estimación de la tendencia está directamente relacionada con la longitud de la serie, por lo que cuanto mayor sea ésta, más robusta será la magnitud calculada. En la **Figura b** se representa la distribución geográfica de las tendencias obtenidas. En la **Figura c**, se representa gráficamente la magnitud de estas tendencias junto con la incertidumbre asociada. La **Tabla b** completa esta información con el período de datos utilizado.

Es muy importante tener en cuenta que estas tendencias son muy sensibles a cualquier incidencia en la estación. Antes de la realización de este informe se ha realizado un exhaustivo control de calidad de los niveles medios de la REDMAR, utilizando datos de altimetría espacial en el entorno de cada puerto, con el fin de detectar y, si es posible, corregir, problemas de unos pocos centímetros que pasan desapercibidos en los controles de calidad en tiempo real y en el proceso anual. De esta forma ha sido posible corregir diversos problemas como el efecto de la deslaminación de la antena en los sensores radar MIROS, que apareció en varias estaciones y se detectó por primera vez en Mayo de 2010, errores en la asignación del cero durante un servicio de mantenimiento (como es el caso del SRD de Valencia) y, sobre todo, determinar el impacto del cambio de instrumentación y/o localización del mareógrafo cuando se realizó la renovación. Los datos publicados por tanto en este informe son los mejores disponibles hasta la fecha y serán actualizados/revisados en años sucesivos.

Por último, y muy importante, las tendencias publicadas en este informe no tienen en cuenta el movimiento vertical de la estación, puerto o región ya que no se dispone de esta información ni se está monitorizando este movimiento. Podrían por tanto estar reflejando tanto una subida en el nivel medio del mar como un hundimiento del terreno. Solo la estación de Ibiza dispone de una estación geodésica permanente (CGPS), asociada y nivelada con el mareógrafo, que permite conocer esta información y restarla, si interesa, de la tendencia relativa medida por el mareógrafo: los últimos datos obtenidos por el centro de proceso de datos GPS del SONEL (`www.sonel.org`) en la Universidad de La Rochelle, indican un movimiento del terreno en la estación de Ibiza de $-1{,}13 \pm 0{,}20$ mm/año.

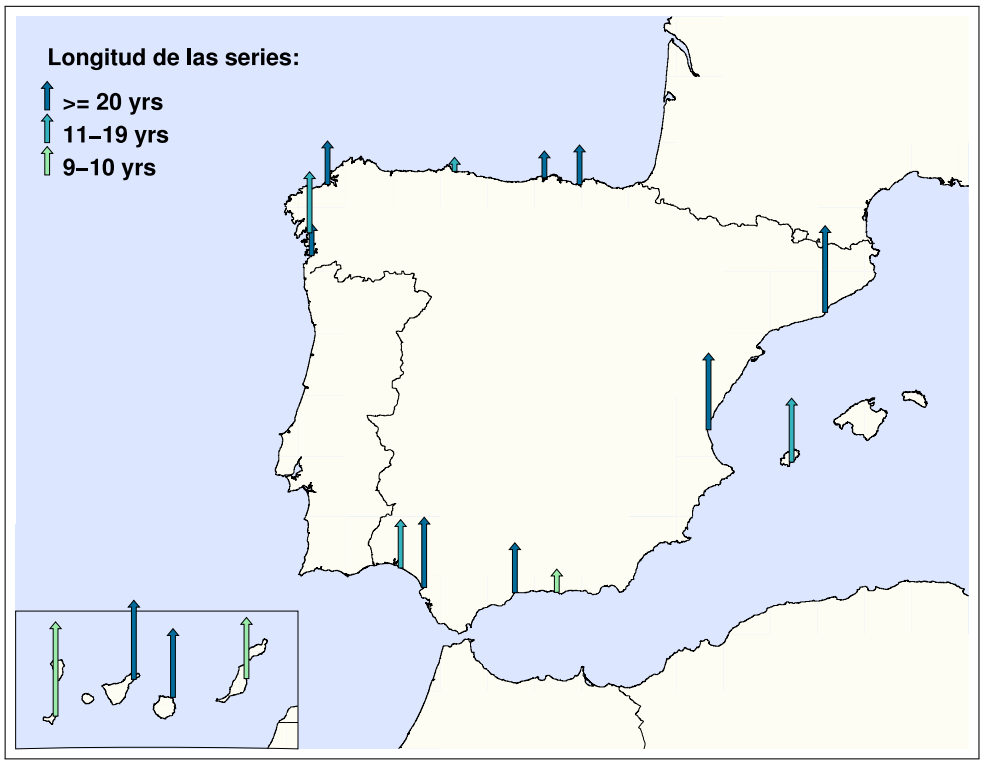


Figura b. Mapa de tendencias anuales en las estaciones de la REDMAR con más de 8 años de datos. El sentido de las flechas indica el signo de la tendencia; el color, la longitud de la serie histórica en cada estación. La longitud de las flechas indica la magnitud de las tendencias y está escalada a la máxima tendencia mostrada.

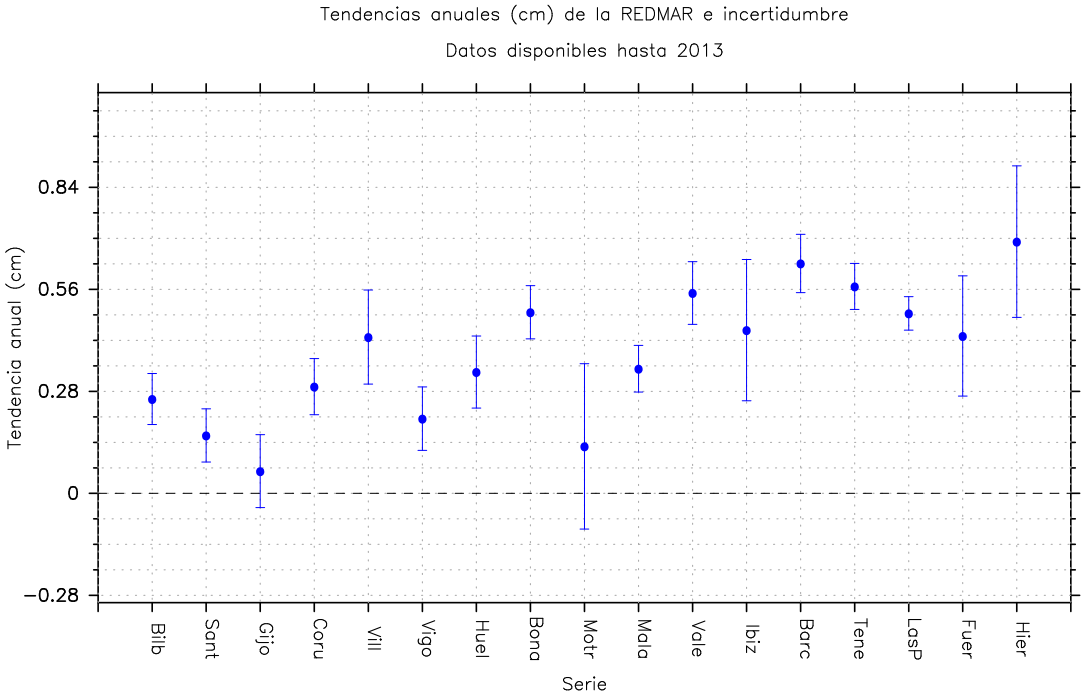


Figura c. Tendencias anuales de las estaciones de la REDMAR con más de 8 años de datos. Las barras indican el error en el cálculo de la tendencia. Las unidades de la tendencia y el error son cm/año.

Serie	**Tendencia** (cm/año)	**Error** (cm/año)	**Año inicial**	**Año final**
Bilbao	0.259	± 0.070	1992	2013
Santander	0.159	± 0.073	1992	2013
Gijón	0.061	± 0.100	1996	2013
A Coruña	0.293	± 0.077	1992	2013
Vilagarcía	0.429	± 0.129	1997	2013
Vigo	0.205	± 0.087	1993	2013
Huelva	0.333	± 0.099	1997	2013
Sevilla-Bonanza	0.497	± 0.073	1992	2013
Motril	0.129	± 0.227	2005	2013
Málaga	0.342	± 0.064	1992	2013
Valencia	0.550	± 0.086	1993	2013
Eivissa	0.448	± 0.194	2003	2013
Barcelona	0.631	± 0.080	1993	2013
Santa Cruz de Tenerife	0.568	± 0.063	1992	2013
Las Palmas	0.494	± 0.046	1992	2013
Puerto del Rosario (Fuerteventura)	0.432	± 0.165	2004	2013
La Estaca (El Hierro)	0.691	± 0.208	2004	2013

Tabla b. Tendencias anuales de las estaciones de la REDMAR con más de 8 años de datos. Se indica la incertidumbre en el cálculo y el año incial y final de la serie histórica empleada. Las unidades de la tendencia y el error son cm/año.

REDMAR

Puerto de Sagunto

Régimen mareal: mixto, con predominancia diurna

Serie histórica para el período **2007-2013**

Portada del puerto:

Localización del puerto de Sagunto sobre una imagen **Google Earth.**
Se detalla la ubicación en el puerto de los mareógrafos de la serie histórica.

5. Resumen de parámetros del puerto

Construcción de la serie histórica

La serie histórica del puerto de Sagunto para el período 2007-2013, se basa en los datos registrados por el mareógrafo especificado en la tabla. En el gráfico, se muestra el porcentaje anual de datos erróneos o huecos en la serie.

Estación	Sensor	Inicio/final de medidas	Longitud	Latitud
Sagu	Rádar (Miros)	Sep-2007/operativo	000° 12' 22.46"W	39° 38' 2.11"N

Tabla 1. Detalles de la estación mareográfica de Sagunto: tecnología del sensor, fabricante, fechas inicial y final de operatividad y coordenadas geofráficas. Se indica la fecha final conforme a la información disponible a fecha de generación de este informe. Las coordenadas del mareógrafo están referidas al elipsoide WGS-84.

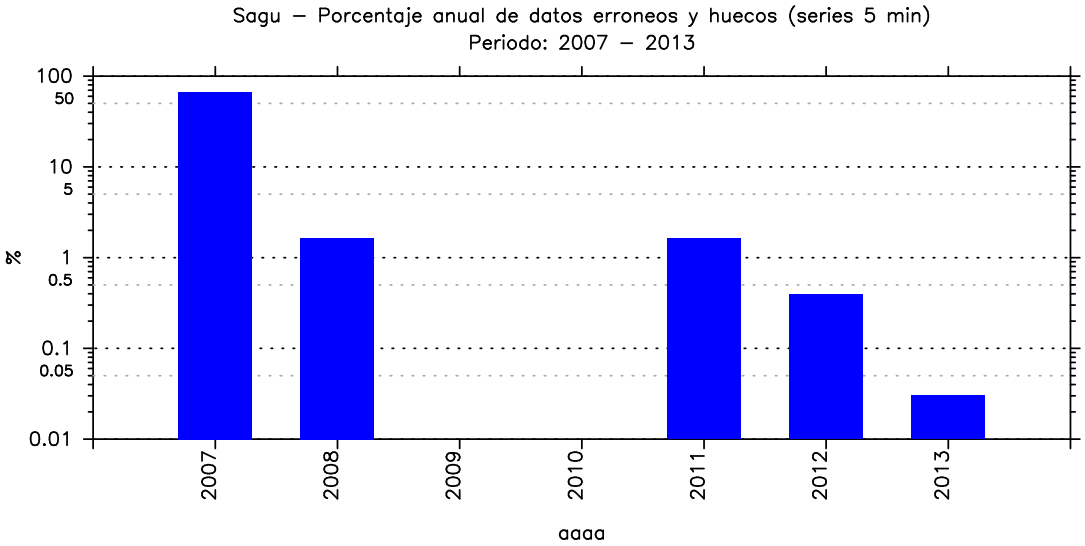


Figura 1. Porcentaje anual de datos erróneos o huecos en la serie histórica de nivel del mar observado (frecuencia muestreo 5 min). Nótese que el eje y muestra el porcentaje en escala logarítmica.

Ceros de las medidas

Esta estación está instalada en la testera del espigón localizado en el tramo final del Muelle de Levante, junto a una baliza verde. La transmisión de datos se realiza cada minuto (muestreo, 1 minuto) y ha quedado configurada por GPRS has la conexión de la fibra óptica. Este sensor mide también agitación y transmite parámetros de oleaje cada 20 min. La cota de situación del cero es provisional hasta que se realice la nivelación.

La estación fue nivelada por el IGN en 2009. El clavo geodésico más cercano se conoce con el nombre de MAREO.-SAGUNTO. El cero del mareógrafo está situado 3,769 m bajo dicho clavo, y el NMMA 3,959 m por debajo del mismo.

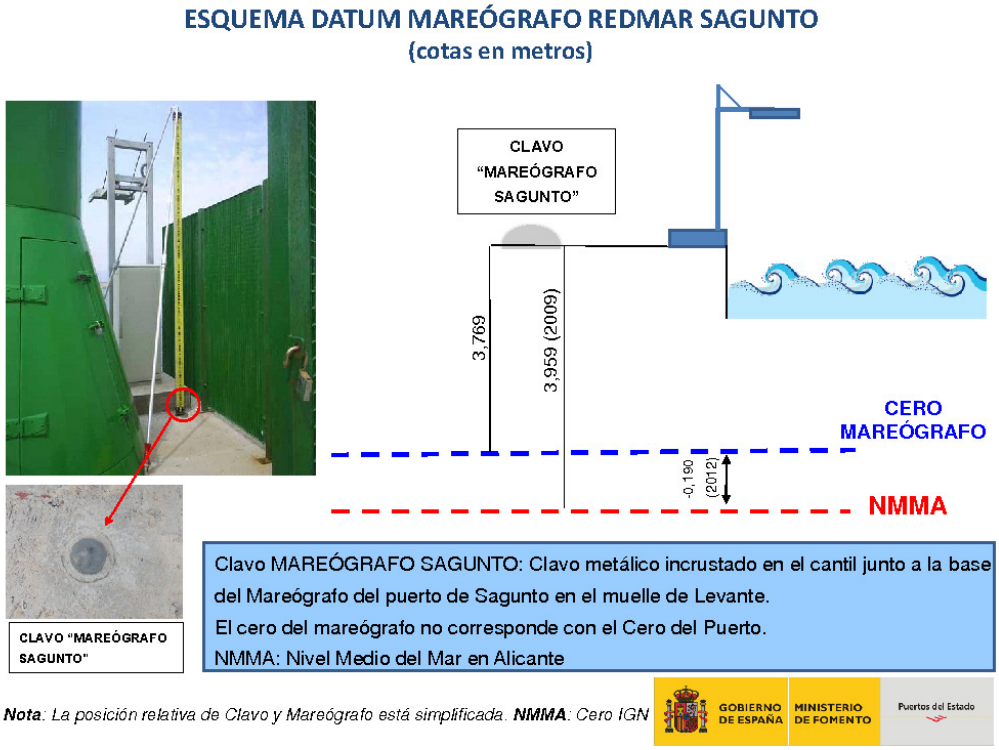


Figura 2. Cotas de los ceros de referencia respecto al clavo de referencia del mareógrafo Sagu. El clavo de referencia es el más cercano al mareógrafo al que ha llegado la línea de nivelación de alta precisión del Instituto Geográfico Nacional (IGN) o el colocado por Puertos del Estado para la calibración del mareógrafo, si la estación está pendiente de nivelar. El **NMMA** (Nivel Medio del Mar en Alicante) es el origen de altitudes en tierra establecido para la Península Ibérica por el IGN y se obteniene como el nivel medio del mar en Alicante durante la década 1870-1880. El **cero hidrográfico**, establecido por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), coincide aproximadamente con el nivel de agua más bajo y varía con las características de la marea a lo largo de la costa. Es la mínima bajamar astronómica (BMMI) calculada para el puerto por el IHM. El **cero del puerto** está definido por el propio puerto y coincide normalmente con la mínima bajamar. El **cero REDMAR**, cero de las medidas de los mareógrafos, suele coincidir con el cero del puerto. En caso contrario, se indica en este esquema. Ver [7] para más información sobre referencias.

Referencias de nivel del mar

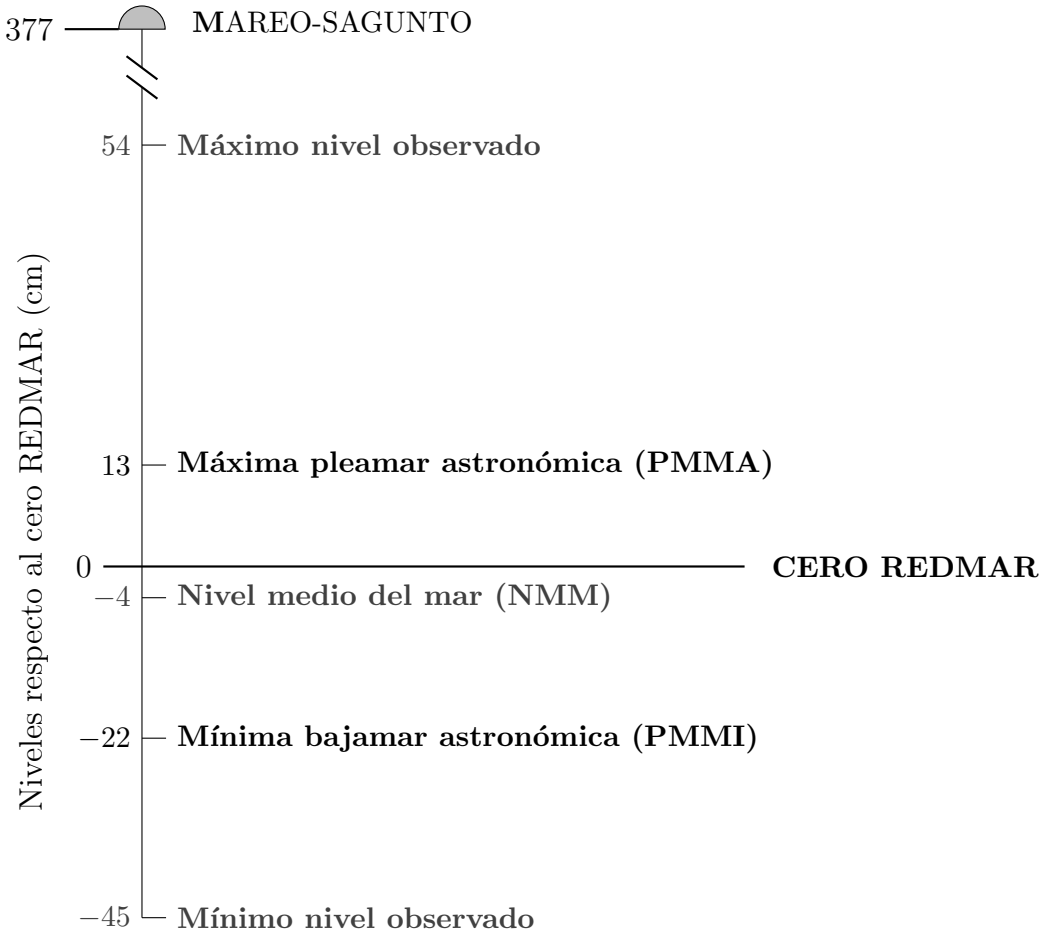


Figura 3. Principales referencias de nivel del mar calculadas sobre el todo período de datos disponible. La unidad de las alturas es el centímetro y están referidas al cero REDMAR. Se indica además, la altura del TGBM (*Tide Gauge Benchmark*) sobre el mismo cero.

Componentes de nivel del mar

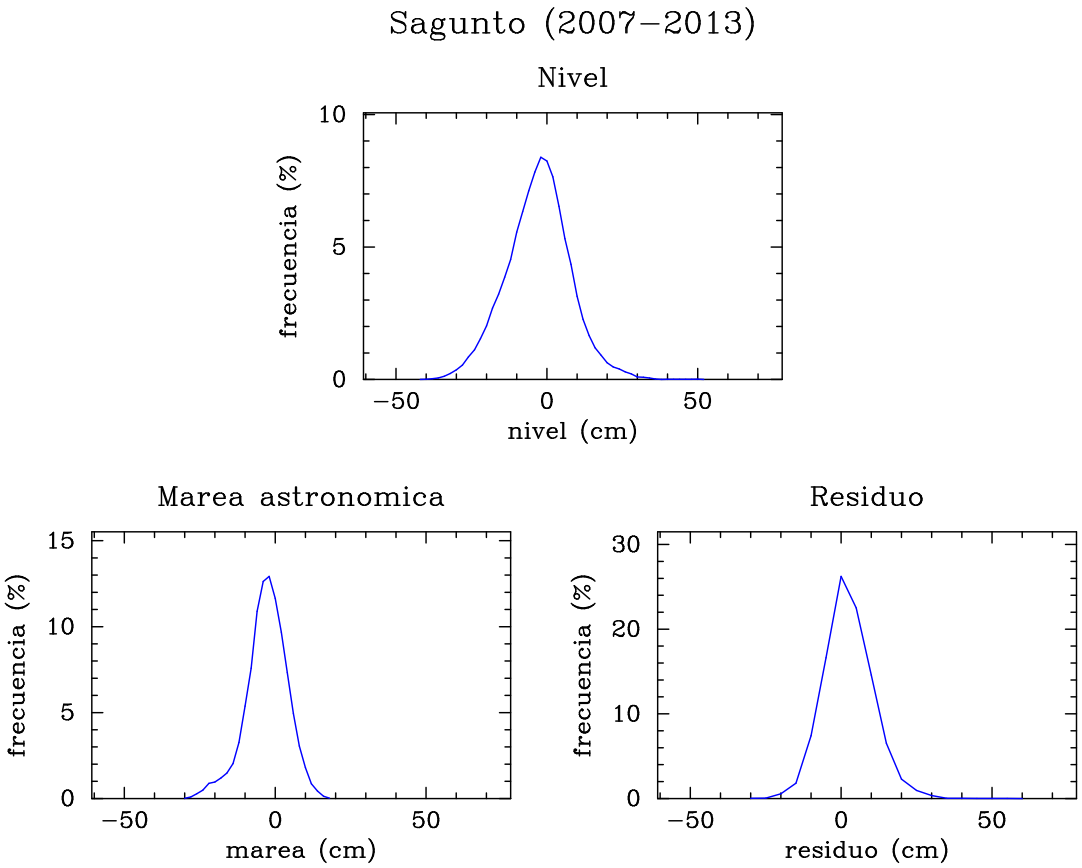


Figura 4. Distribución de frecuencia relativa de nivel del mar horario observado (gráfico superior), marea astronómica horaria (gráfico inferior-izquierda) y residuo meteorológico horario (gráfico inferior-derecha). La frecuencia se proporciona en puntos porcentuales y la unidad de nivel observado, marea y residuo es el centímetro.

Régimen medio y percentiles

Régimen medio de máximos y mínimos

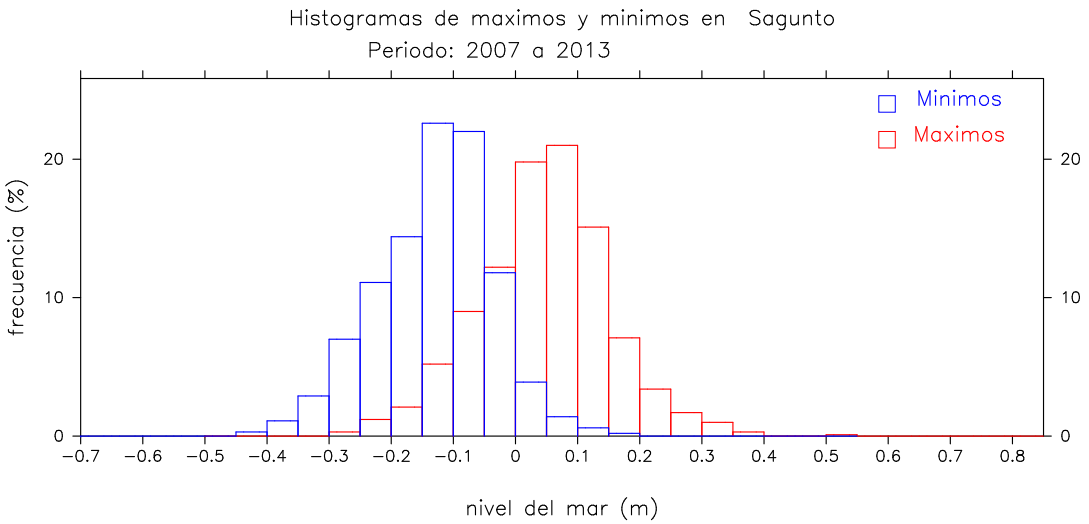


Figura 5. Distribución de frecuencia relativa de mínimos y máximos observados. La frecuencia se proporciona en puntos porcentuales y la unidad de nivel del mar es el metro. Aunque se representan conjuntamente, los histogramas se han calculado para la serie de mínimos y para la serie de máximos independientemente.

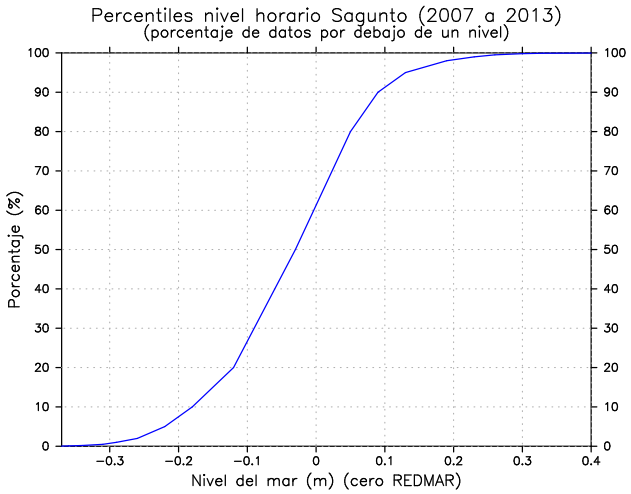
Estadística Mínimos	
Mínima (m):	-0.45
Máxima (m):	0.26
Media (m):	-0.12
Desv.Est. (m):	0.09
Moda (m):	-0.12
Mediana (m):	-0.12
Sesgo:	-0.20
Curtosis:	0.29

Estadística Máximos	
Mínima (m):	-0.29
Máxima (m):	0.54
Media (m):	0.05
Desv.Est. (m):	0.11
Moda (m):	0.07
Mediana (m):	0.05
Sesgo:	0.02
Curtosis:	0.60

Tablas 2 y 3. Estadísticas de mínimos y máximos observados. Extremos (máximos y mínimos) y momentos muestrales de las series de mínimos (Tabla 2) y máximos (Tabla 3) observados.

Percentiles de la serie de nivel horario

(% niveles horarios por debajo de un nivel dado)

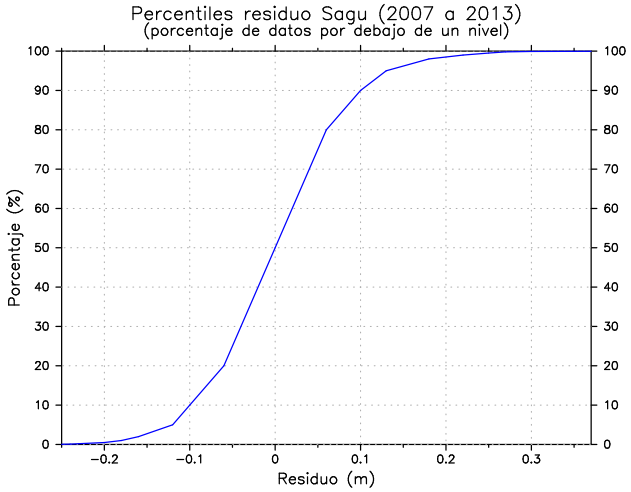


Nivel (m)	% acumulado
-0.37	0.05
-0.36	0.10
-0.34	0.20
-0.31	0.50
-0.29	1.00
-0.26	2.00
-0.22	5.00
-0.18	10.00
-0.12	20.00
-0.03	50.00
0.05	80.00
0.09	90.00
0.13	95.00
0.19	98.00
0.23	99.00
0.26	99.50
0.30	99.80
0.33	99.90
0.40	99.95

Figura 6/Tabla 4. Distribución de frecuencia relativa acumulada (izquierda) y tabla de percentiles (derecha) de nivel horario observado. La frecuencia se proporciona en puntos porcentuales y la unidad del nivel es el metro.

Percentiles de la serie de residuo meteorológico

(% residuo por debajo de un nivel dado)



Residuo (m)	% acumulado
-0.25	0.05
-0.24	0.10
-0.23	0.20
-0.20	0.50
-0.18	1.00
-0.16	2.00
-0.12	5.00
-0.10	10.00
-0.06	20.00
0.00	50.00
0.06	80.00
0.10	90.00
0.13	95.00
0.18	98.00
0.22	99.00
0.25	99.50
0.27	99.80
0.30	99.90
0.37	99.95

Figura 7/Tabla 5. Distribución de frecuencia relativa acumulada (izquierda) y tabla de percentiles (derecha) del residuo meteorológico horario. La frecuencia se proporciona en puntos porcentuales y la unidad del residuo es el metro.

Medias mensuales

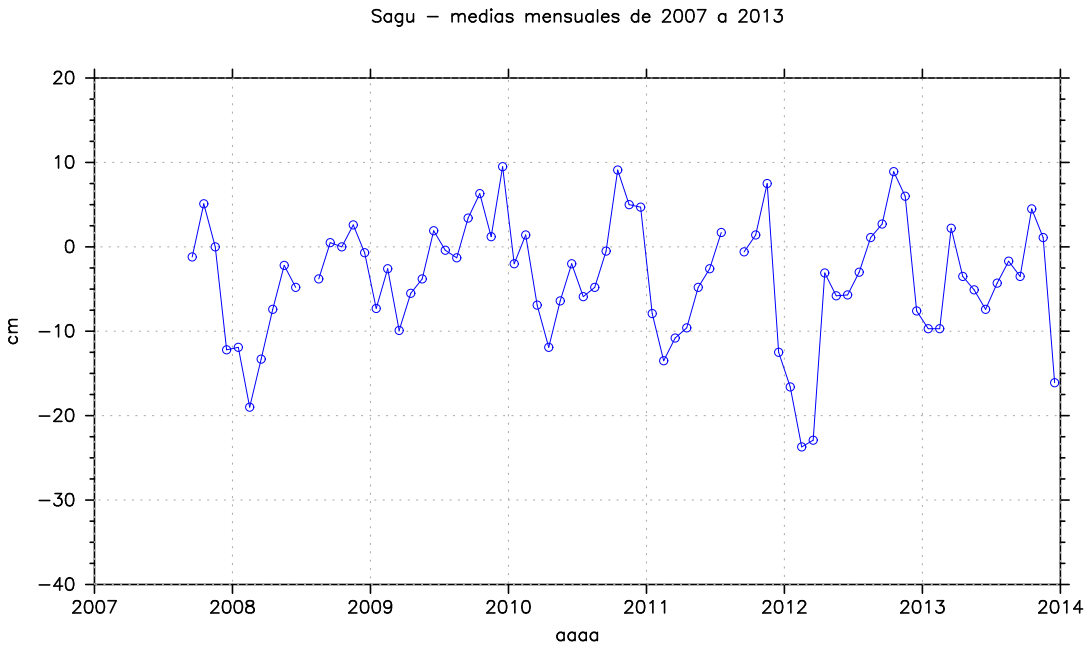


Figura 8. Serie de nivel medio mensual para el puerto. La unidad del nivel medio es el centímetro.

Referencias

[1] PdE, 2005: *REDMAR: Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria.*

[2] Martín Mínguez, B., Pérez Gómez, B. y Álvarez Fanjul, E, 2005: *The ESEAS-RI Sea Level Test Station: Reliability and Accuracy of Different Tide Gauges.* International Hydrographic Review, vol. 6, no. 1.

[3] B. Pérez, A. Payo, D. López, P.L. Woodworth y E. Álvarez Fanjul, 2012: *Overlapping sea level time series measured using different technologies: an example from the REDMAR Spanish network. in press*

[4] B Pérez, E Álvarez Fanjul, S Pérez, M de Alfonso y J Vela, 2013: *Use of tide gauge data in operational oceanography and sea level hazard warning systems.* Journal of Operational Oceanography, vol. 6, no. 2.

[5] Pugh DT. 1987: *Tides, surges and mean sea-level.* John Wiley and Sons, 472 pp.

[6] Caldwell, Patrick. 2000: *Sea Level Data Processing on IBM-PC Compatible Computers. Version 3.0.* http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhslc/jaslpr2/slman2.html

[7] PdE, 2011: *NIVELES DE REFERENCIA DE NIVEL DEL MAR.* http://portus.puertos.es/Portus/pdf/referencias/Descripcion_Referencia_NivelDelMar_es.pdf

Fecha Inicial de Publicación: 14/07/2011

NIVELES DE REFERENCIA DE NIVEL DEL MAR

I. Cero geodésico (IGN)

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) establece el **origen de altitudes en tierra o cero geodésico.** En la Península Ibérica se utiliza el **Nivel Medio del Mar en Alicante** (NMMA) obtenido a partir de datos de nivel del mar en este puerto, durante la década 1870-1880 (por esta razón, el mareógrafo de Alicante fue el primer mareógrafo español instalado con carácter permanente, y por tanto la serie de datos de nivel del mar más larga de nuestro país). **En las islas se utiliza como cero el nivel medio del mar local.** Éste se obtiene a partir de las mediciones de nivel del mar de un mareógrafo permanente en dicha isla, si existe, para un periodo determinado. De esta forma, las altitudes en la isla de Tenerife, por ejemplo, estarán referidas al Nivel Medio del Mar en Tenerife, y así sucesivamente.

Antiguo Mareógrafo de Alicante (IGN)

Al Cero Geodésico se refieren las altitudes ortométricas de las señales o clavos geodésicos distribuidos por la geografía española. Constituye la única referencia nacional terrestre. Al llegar a la línea de costa aparecen nuevos ceros, ya dentro del agua, que describimos a continuación.

II. Cero hidrográfico (IHM).

El Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) tiene entre una de sus misiones el establecimiento de la referencia vertical de la cartografía náutica. Esta referencia se denomina **cero hidrográfico** y se utiliza tanto en la publicación del **Anuario de Mareas** y como en la elaboración de las **cartas náuticas**. Este cero coincide aproximadamente con el nivel de agua más bajo y varía con las características de la marea a lo largo de la costa.

La Organización Hidrográfica Internacional (OHI) recomienda en su resolución 3/1919 el uso del LAT (Lowest Astronomical Tide) como referencia vertical de la cartografía náutica en zonas con apreciable rango de mareas (mayor de 30 centímetros). Se define el LAT como la menor bajamar que puede ser predicha en condiciones meteorológicas medias y bajo cualquier combinación de condiciones astronómicas. Para obtener este valor la OHI recomienda efectuar una predicción de 19 años con las constantes armónicas obtenidas de series de al menos un año de duración. El IHM aplica esta definición al cálculo del **cero hidrográfico**.

Las series temporales de los mareógrafos permanentes de la REDMAR son usadas para el cálculo, monitorización y actualización de esta referencia.

III. Cero del puerto.

Cada puerto, por su parte, establece y utiliza un nivel de referencia o cero conveniente para la realización de obras, dragados, etc; que se conoce con el nombre de **cero del puerto** y que normalmente coincide con la mínima bajamar. Puede coincidir o no con el cero hidrográfico, dependiendo de los datos a partir de los que se ha obtenido, de las variaciones históricas en las condiciones de la marea, etc. En general, el puerto requiere un cero que no se quede “en seco” (que daría lugar a niveles negativos del mar), algo que, por definición, no tiene por qué ocurrir con el cero hidrográfico.

IV. Cero REDMAR.

Así denominaremos al cero o referencia utilizado por cada mareógrafo de la REDMAR. Puede coincidir o no con alguno de los anteriores.

V. Otras definiciones:

- **Nivel medio del mar en el puerto:** nivel medio del mar en el puerto en que se encuentra la estación, calculado a partir de un año concreto de datos de dicho mareógrafo. No confundir con el Cero Geodésico (Nivel Medio del Mar en Alicante o análogo en islas).

Vi. Información en la web de Puertos del Estado.

Todos los mareógrafos de REDMAR utilizan normalmente el Cero del Puerto (comunicado por la Autoridad Portuaria) como cero de las medidas, cuando éste es conocido. Por lo tanto, el Cero REDMAR coincidirá con el Cero del Puerto en casi todas las estaciones. En principio, éste no se cambia nunca, a no ser que lo solicite la propia Autoridad Portuaria, ante una nueva definición de cero del puerto.

Nivelación de Mareógrafo en Ferrol

La relación entre Cero del Puerto y el Cero Hidrográfico se puede consultar en el anexo I de este documento, en la web y en los informes anuales para aquellos en que se conoce.

Por otra parte, tanto en el anexo I de este documento como en la descripción de todos los mareógrafos que se ofrece en la web se muestra la relación entre Cero del Puerto y Cero Geodésico (NMMA o análogo en las islas), cuando está disponible.

Esta información proviene de nivelaciones de alta precisión realizadas en colaboración con el IGN, y con su metodología.

Estos datos se actualizan cada vez que se realiza una nueva nivelación, algo conveniente para verificar el movimiento del terreno, y aislarlo de la variación del nivel del mar. A lo largo del tiempo el IGN realiza nuevos cálculos de estas cotas. Durante 1998 el IGN llevó a cabo una compensación general de toda la red de nivelación nacional (Proyecto RedNAP98), obteniendo para todas y cada una de las señales una nueva altitud homogénea con el resto de la red, que en ocasiones presenta discrepancias con respecto a la disponible hasta dicho año. En 1999 el IGN proporcionó estas nuevas cotas, que dieron lugar a cambios sustanciales, de alrededor de 30 cm, en la relación con el Cero Geodésico (NMMA) en los puertos del Cantábrico y Galicia. Esto ha ocurrido en el pasado en otros países como Estados Unidos o Reino Unido y es una muestra de lo poco fiable que resulta la relación con las redes de nivelación nacionales para la determinación de la variación espacial del nivel medio. Hoy en día esto empieza a ser posible mediante la utilización de estaciones de posicionamiento permanente GNSS asociadas a los mareógrafos.

Periódicamente Puertos del Estado y las Autoridades Portuarias nivelan de nuevo las estaciones de REDMAR, en colaboración con el IGN. A medida que dichos trabajos se completan, la información se va incorporando a la página web y a los informes que se realizan.

Estación GNSS en el puerto de Ibiza

Las nuevas técnicas de referenciación por GNSS, permitirán en el futuro disponer de un nivel de referencia internacional y conocer las variaciones absolutas del nivel del mar. En estos momentos, las estaciones de Ibiza, Palma de Mallorca, Barcelona y Ferrol disponen de una estación de referencia GNSS permanente, cerca o sobre el mareógrafo, que permite el seguimiento continuo del movimiento vertical de la instalación y la relación del nivel del mar con respecto al elipsoide de referencia (referencia internacional y utilizada por datos de satélite).

ANEXO I: TABLA DE REFERENCIAS EN LA REDMAR

A continuación se muestra una tabla donde se pueden consultar las cotas de los "ceros" o referencias de todos los mareógrafos que formaron parte de la REDMAR (activos y desmantelados). Esta información está actualizada a la fecha de publicación de este documento. Para consultar cambios posteriores, se recomienda consultar la página web. El clavo de referencia que aparece en la tabla es el clavo más cercano al mareógrafo al que ha llegado la línea de nivelación de alta precisión (si el mareógrafo ha sido nivelado) o el colocado por Puertos del Estado para calibración del mareógrafo, si la estación está pendiente de nivelar.

Esta información se ha generado en colaboración con el **Instituto Hidrográfico de la Marina** (IHM), que nos ha proporcionado la información de **cero hidrográfico** en relación a nuestro clavo de referencia, y el **Instituto Geográfico Nacional** (IGN), que ha participado o realizado las nivelaciones de alta precisión al cero geodésico.

Tabla 1. Ceros de la REDMAR. Actualizado en Septiembre de 2016

	Clavo de Referencia	Cero REDMAR /año	Cero Geodésico /año	Cero Hidrográfico/año	Cero Puerto-Cero Geodésico
Bilbao1	NGU-75	6,968 / 1992	4,952 /1998 4,905 /2009	7,128 / 1998 7,091 / 2008	2,016 / 1998 2,063 / 2009
Bilbao2*	MAREOG. 2 – I	6,742 / 2000	4,666 / 2009	6,852 / 2008	2,076 / 2009
Bilbao3–Ubi1	MAREOG.3		5,249 / 2009		
Bilbao3–*Ubi2	MAREOG.2-NEW	6,954 / 2009	4,891 / 2009	7,077 / 2008 7,024 / 2013	2,063 / 2009
Santander	NGU-84	6,306 / 1992	3,851 / 1998	5,926 / 2008 5,906 / 2013	2,455 / 1998
Santander2	NGU-84	6,306 / 1992	3,851 / 1998	5,926 / 2008 5,906 /2013	2,455 / 1998
Gijón	NGU-83	6,026 / 1992	3,665 / 1998	5,776 / 2004 5,676 /2013	2,361 / 1998
Gijón2	NGU-83	6,026 / 1992	3,665 / 1998	5,776 / 2004 5,676 / 2013	2,361 / 1998
Ferrol1	SSNoray-1	6,567 / 2007	4,687 / 2008	6,577 / 2010	1,880 / 2008
Ferrol2	NGX - 804	5,559 / 2007	3,679 / 2008	5,619 / 2013	1,880 / 2008
Coruña	SSM	5,982 / 1992	3,654 / 1998	5,517 / 2004 5,442 / 2013	2,328 / 1998
Coruña2	SSM	5,982 / 1992	3,654 / 1998 3,577 / 2014	5,517 / 2004 5,442 / 2013	2,328 / 1998 2,405 / 2014
Langosteira	C.N.	7,071 / 2014		7,071 / 2014	
Villagarcía	NGU 36	5,156 / 1997	3,405 / 1998 3,263 / 2009	5,076 /2005	1,751 / 1998 1,893 / 2009
Villagarcía2*	NGAB	5,072 / 2012	3,179 / 2009	4,992 /2005 4,952 /2013	1,821 / 2009
Marín*	C.N. Provisional	5,578 / 2009		5,498 /2013	
Vigo	NGO999	6,141 / 1992	4,486 / 1998 4,361 / 2010	6,201 / 2010	1,655 / 1998 1,780 / 2010
Vigo2 *	MAREOG.VIGO2	6,274 / 2008	4,502 / 2010	6,342 / 2008 6,224 / 2013	1,772 / 2010

Tabla 1 (continuación). Ceros de la REDMAR. Actualizado en Septiembre de 2016.

	Clavo de Referencia	Cero REDMAR /año	Cero Geodésico /año	Cero Hidrográfico/año	Cero Puerto-Cero Geodésico
Huelva2	SSPD	4,517 / 1992	2,940 / 1998	4,457 / 1998	1,577 / 1998
Huelva5*	SSPD	4,517 / 2007	2,940 / 1998	4,457 / 1998 4,407 / 2013	1,577 / 1998
Bonanza	NGU-76	4,524 / 1992	3,105 / 1998	4,484 / 1998 4,244 / 2013	1,419 / 1998
Bonanza2	CN-BON	4,524 / 1992	3,105 / 1998	4,484 / 1998 4,244 / 2013	1,419 / 1998
Sevilla-Esclusa	JPS	9,026 / 1992	8,477 / 1998	9,226 / 2000	0,549 / 1998
Algeciras	NGAB-MAR CEPSA	3,297 / 2010	2,776 / 2009	3,275 / 2010 3,298 / 2014	0,521 / 2010
Tarifa	NGAB-MAR	6,589 / 2010	6,068 / 2009	6,787 / 2011 6,697 / 2013	0,521 / 2010
Melilla*	C.N.	2,050 / 2010		2,060 / 2013	
Málaga	SSK-236	1,244 / 1992	0,829 / 1998 0,799 / 2012	1,176 / 2000	0,415 / 1998 0,431 / 2012
Málaga3	SP FARO (NGAB)	3,333 / 2009	2,902 / 2012		0,431 / 2012
Motril	MOT1	2,216 / 2004	1,994 / 2009	2,410 / 2009	0,222 / 2009
Motril2	MOT2	2,528 / 2009	2,112 / 2009	2,528 / 2009	0,416 / 2009
Almería	MAREOG.	3,990 / 2006	3,760 / 2009	4,004 /2011	0,230 / 2009
Valencia3	NGW596	2,276/ 2006	2,285 / 2006	2,636 / 2010	0,009 / 2006
Gandía	NUEVO-MAREOG.	1.726 / 2010	1,865 / 2010		-0,139 / 2010
Sagunto	MAREO-SAGUNTO	3,769 / 2007	3,959 / 2009		-0,190 / 2009
Barcelona	NGP-791	2,438 / 1998	2,412 / 1998	2.712 / 2006 2,578 / 2012	0,026 / 1998
Barcelona2	Clavo “146”	4.419 / 2009	4,419 / 1995 4,240 / 2011	4,469 / 2012	0,393 / 2011

Tabla 1 (continuación). Ceros de la REDMAR. Actualizada en Septiembre de 2016.

	Clavo de Referencia	Cero REDMAR /año	Cero geodésico /año	Cero Hidrográfico/año	Cero Puerto-Cero Geodésico
Tarragona	CN1	4,964 / 2011		4,865 / 2017	
Ibiza	IB1	0,884 / 2003	0,560 / 2009	0,934 / 2007	0,324 / 2009
Ibiza2	IB1	0,884 / 2003	0,560 / 2009	0,934 / 2007	0,324 / 2009
Formentera	NGAB-MAR.FORMENT.	1,648 / 2010	1,408 / 2010		0,240 / 2010
P.Mallorca	MAREOG-PALMA	1,627 / 2010	1,790 / 2010		-0,163 / 2010
Alcudia	MAREOG-ALCUDIA	2,307 / 2010	1,925 / 2010		0,382 / 2010
Mahón	NGAB-MAREOG-MAO	1,219 / 2010	1,336 / 2010		-0,117 / 2010
Las Palmas	NGU340	4,295	2,735 / 1998 2,745 / 2009	4,155 / 2008	1,560 / 1998 1,550 / 2009
Las Palmas2	FARO	4,535	2,985 / 2009	4,395 / 2008 4,345 / 2013	1,550 /2009
Arinaga	ZN20	5,550		5,150 / 2007	
Fuerteventura	SSMARE	3,812	2,327 / 2004	3,872 / 2008	1,485 / 2004
Fuerteventura2	NGAB-MARE(N)	4,269 / 2012	2,777 / 2012	4,326 / 2008 4,289 / 2013	
Tenerife	SS 412	5,198 / 2010	3,754 / 2010	5,088 / 2008 5,028 / 2013	1,444 / 1998
Tenerife2	SS 412	5,198 / 2010	3,754 / 2010	5,088 / 2008 5,028 / 2013	1,444 / 1998
Granadilla	AP1	3,850		3,529 / 2007 3,450 / 2013	
Hierro	HI1	4,330 / 2011	2,910 / 2011	3,962 / 2010	1,420 / 2011
Hierro2	MARE. HIERRO2	4,323 / 2011	2,903 / 2011	3,955 / 2010 3,883 / 2013	1,420 / 2011
La Gomera	MARE. GOMERA	2,899 / 2011	1,431 /2011	2,868 / 2010 2,799 / 2013	1,468 / 2011
La Palma	MARE.LAPALM	4,320 / 2006	2,942 / 2011	4,150 / 2013 4,140 / 2013	1,378 / 2011
Arrecife	SSMFO	4,243 / 2009	2,530 / 2009	4,043 / 2009 4,053 / 2013	1,713 / 2009

NOTA: Las estaciones que se muestran en color **gris** son aquellas que han sido desmanteladas y/o sustituidas por otro sensor nuevo.

MINISTERIO DE FOMENTO

Puertos del Estado

Fecha de Publicación: 23-06-2015

CONJUNTO DE DATOS: REDMAR

Introducción

El conjunto de datos REDMAR está formado por las medidas procedentes de la Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Tiene como finalidad primordial medir, grabar, analizar y almacenar de forma continua el nivel del mar en los puertos, siendo el acceso a los datos en tiempo real uno de sus aspectos primordiales. Las estaciones más antiguas proporcionan datos desde Julio de 1992. En la actualidad esta red cuenta con más de 30 estaciones en funcionamiento.

El dato de nivel del mar en tiempo real es utilizado para la realización de dragados o para la navegación en el interior de algunos puertos. Las series históricas que la red de mareógrafos proporciona permiten afrontar el estudio del regímenes extremal y medio, que sirven de referencia a la hora de proyectar una obra en la costa; seguimiento del cero del puerto o nivel de referencia, obtención de constantes armónicas más precisas para la realización de las tablas de marea (o predicción de marea astronómica), conocimiento de la componente meteorológica del nivel del mar en caso de tormenta, estudio de la evolución del nivel medio del mar, calibración de modelos numéricos de corrientes y mareas, calibración de datos de altimetría espacial,etc.

En 1991 se seleccionaron los primeros 14 puertos que iban a contar con sensores de medida y cada puerto realizó la adquisición correspondiente. En Julio de 1992 se consideró finalizada la fase de prueba de las instalaciones y comenzó el almacenamiento sistemático de los datos. Desde entonces Puertos del Estado gestiona el funcionamiento de la red desde Madrid: contrato de mantenimiento, control de calidad, proceso y análisis de datos, e incorporación de datos históricos y de productos en la Base de Datos y generación de informes históricos, regímenes medios y extemales, etc.

Inicialmente esta red estuvo compuesta por mareógrafos acústicos SONAR. Posteriormente, debido al cese de fabricación de los equipos inicialmente adquiridos fue necesario recurrir a otras tecnologías y, por ello, las estaciones incorporadas entre 2004 y 2006 se basaron sensores de presión Aanderaa. Estos sensores se establecieron de manera provisional, debido a que presentaban dificultades de mantenimiento y derivas a largo plazo. En paralelo, Puertos del Estado realizó un exhaustivo experimento de comparación de instrumentación que permitió determinar la tecnología más indicada para los objetivos de la REDMAR. Como resultado de dichos experimentos se escogió la tecnología de barrido de frecuencias, que permite la monitorización del nivel del mar en todo el rango de frecuencias, incluido el oleaje o agitación.

A partir del año 2006 comenzó un periodo de renovación de la REDMAR durante el cual se fueron sustituyendo todas las estaciones antiguas por estaciones de este tipo (del fabricante Miros). Desde 2007 se han incorporado además muchas nuevas estaciones (todas ya de tipo radar) que han completado y mejorado enormemente la cobertura espacial de la red. En numerosas ocasiones la renovación ha supuesto la re-ubicación de la nueva estación en otro muelle, lo que ha requerido de la realización de una nivelación de alta precisión entre las dos estaciones (en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional, IGN).

Los nuevos mareógrafos de radar Miros también están preparados para medir oleaje junto al muelle o agitación, proporcionando medidas de altura significante y periodo medio cada 20 minutos. Estos datos de agitación, por encontrarse el sensor a el sensor a pie de muelle y en el interior de un puerto, pueden estar afectados por procesos locales de reflexión y/o refracción inherentes a la instalación, y no tienen por qué ser representativos del oleaje exterior.

En algunos casos, a la estación mareográfica se le han adosado sensores meteorológicos que proporcionan información en tiempo real de viento y presión atmosférica de alta resolución. Esta información viene a paliar la falta de datos atmosféricos que se derivó de la desaparición de la Red de Estaciones Meteorológicas Portuarias (REMPOR) en el año 2006. Para obtener una descripción más detallada de las características y los métodos de adquisición de datos meteorológicos se recomienda descargar de la página web de Puertos del Estado el documento descriptivo elaborado a tal efecto: REMPOR.

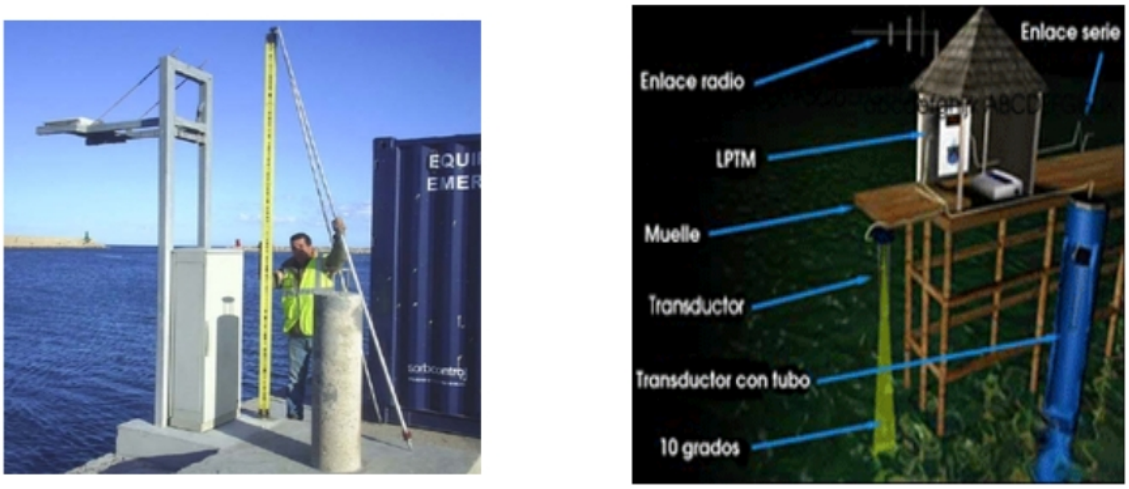


Figura1. Sensor radar MIROS en el Puerto de Gandía (izquierda) y esquema de instalación de mareógrafo acústico (derecha).

La figura 1 muestra esquemas de la instalación de los mareógrafos que forman parte de la red REDMAR.

Puertos del Estado colabora con los distintos organismos con responsabilidades en mareas o medición del nivel del mar, tanto a nivel nacional como internacional, como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), el Instituto Español de Oceanografía (IEO), el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) o los centros meteorológicos nacionales (AEMET) y autonómicos. La red REDMAR se complementa muy bien espacialmente con las del IGN y el IEO. Se mantienen sin embargo varios puntos de coincidencia debido, por una parte, a la necesidad de inter-comparación de datos de equipos diferentes, y, por otra, para garantizar en estos puertos la mínima pérdida de datos posible. Por otra parte, el IHM es el responsable de la publicación de los Anuarios de Mareas; la REDMAR proporciona datos que permiten a este organismo mejorar sus predicciones de marea astronómica. Además los datos de las estaciones de la REDMAR se integran periódicamente en centros de datos internacionales como el *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL) o *Global Sea Level Observing System* (GLOSS).

Obtención de Datos.

De manera general, los sensores acústicos y de presión de la REDMAR proporcionaban datos brutos cada 5 minutos que son enviados a una estación receptora ubicada en la Autoridad Portuaria. Posteriormente, mediante correo electrónico dicha información llegaba a Puertos del Estado con una periodicidad que dependía de cada una de las estaciones (6h, 1h ó 5 minutos). Cada hora, los datos que iban llegando eran sometidos a un control de calidad automático.

En el caso de los nuevos mareógrafos de radar, que han sustituido a los antiguos sensores (acústicos y presión), los datos tienen una frecuencia de muestreo de 0.5 segundos. La información también es transmitida a una estación receptora ubicada en la Autoridad Portuaria en la que los datos de nivel del mar y atmosféricos son promediados cada minuto y los parámetros de oleaje cada 20 minutos. Toda esta información se transfiere a Puertos del Estado por Internet. Cada cuarto de hora, los datos que van llegando son sometidos a un control de calidad automático.

Por otro lado, cada 12 horas se aplica un filtro sobre los datos de nivel del mar que obtiene promedios horarios así como el residuo meteorológico a partir de la serie bruta. Toda esta información, la serie promediada cada 5 minutos, la serie horaria y el residuo meteorológico son almacenados de modo definitivo en el Banco de Datos Oceanográficos.

Además, una vez al año, se revisan exhaustivamente las series temporales de nivel del mar recibidas desde las estaciones. Partiendo de estas series cuidadosamente depuradas se calculan los niveles medios (diarios, mensuales y anuales), extremos (diarios, mensuales y anuales), las constantes armónicas así como las carreras de marea para cada estación de la REDMAR. Dichos datos son almacenados de modo definitivo en el Banco de Datos Oceanográficos.

La Figura 2 esquematiza el proceso de generación y almacenamiento seguido por los datos procedentes de los mareógrafos de la REDMAR.

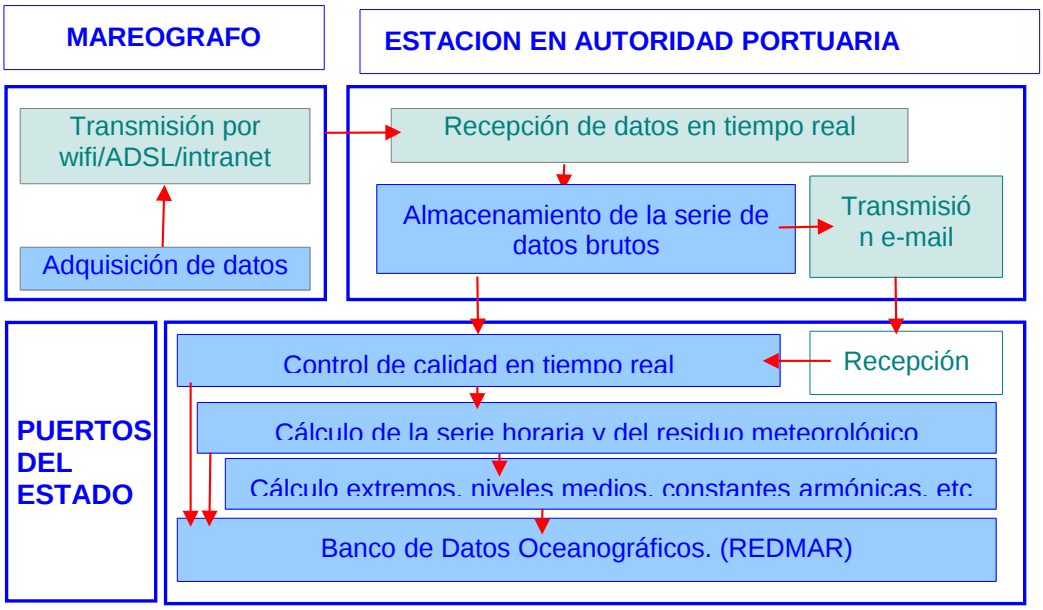


Figura 2. Generación, transmisión, proceso y almacenamiento en la REDMAR

Control de calidad

Como se ha indicado, los datos de nivel del mar recibidos por las estaciones en costa, son enviados por Internet en tiempo real y recibidos en Puertos del Estado. La recepción y almacenamiento de estos datos se complementa con un control de calidad que garantiza que los valores disponibles se han obtenido en condiciones de correcto funcionamiento de todos los equipos de medida. Se marcan además, todos los datos que presentan valores anómalos, fundamentalmente picos y valores estacionarios.

Por otro lado, el proceso específico realizado anualmente sobre los datos brutos de nivel del mar va asociado a un control de calidad más estricto incluyendo un control del nivel de referencia.

Los datos de agitación y meteorológicos no disponen, por el momento, de un control de calidad tan exhaustivo como el nivel del mar. Aunque son sometidos sendos controles automáticos, uno en tiempo real, en mismo momento de su recepción, y otro posterior con cadencia horaria.

Tiempo de muestreo

Los mareógrafos que componen esta red generan series temporales de datos con una cadencia concreta (que es distinta, dependiendo del tipo de sensor), aunque dichos valores se han calculado sobre series registradas en intervalos inferiores.

Los mareógrafos radar tienen un intervalo de muestreo de 0.5 segundos, realizando medidas durante todo un minuto. El dato minutal transmitido de nivel del mar es el promedio de toda esa muestra. Para la agitación los datos se promedian y transmiten cada 20 minutos.

En el caso de los mareógrafos acústicos se generan datos cada 5 minutos. No obstante, cada dato resulta de promediar registros tomados durante 30-40 segundos.

Los mareógrafos de presión proporcionan datos cada 5 minutos, que corresponde a un valor promedio de dicho intervalo de tiempo.

Construcción de una Única Serie Histórica a partir del Mareógrafo Antiguo y Nuevo

Uno de los retos más importantes de la renovación de la REDMAR ha sido compatibilizar la mejora sustancial en la calidad del dato que ha supuesto la renovación, con el mantenimiento de una única serie de nivel del mar histórica coherente y de calidad en cada uno de los puertos. Esto ha sido difícil porque el cambio de tecnología implica diferencias en la precisión de los datos y porque, además, en algunos casos la renovación también supuso un cambio de ubicación de la estación, con consecuentes diferencias que esto puede producir entre los datos de las estaciones dentro de un mismo puerto.

Para poder generar una única serie histórica de nivel del mar en cada puerto se realizó un estudio de comparación exhaustivo para toda la red, a partir de los periodos de funcionamiento simultáneo de los sensores antiguo y nuevo.

Como resultado, en todos aquellos puertos en los que ha habido dos estaciones REDMAR se han podido consolidar los datos de cada una en una sola serie temporal. Se puede consultar más

información sobre este trabajo de construcción de una única serie histórica en el informe de "Estadística General" para cada puerto que está disponible en la web de Puertos del Estado: http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx > Datos Históricos > Nivel del Mar > *Hacer click sobre la Estación de interés* > Bajo el epígrafe Informes Climáticos > Estadística General. Para consultar los detalles de este trabajo de consolidación de los datos puerto por puerto se recomienda descargar el informe

Niveles de Referencia de Nivel del Mar

Un problema fundamental a la hora de definir el nivel del mar es el nivel de referencia o cero. Lo más conveniente es utilizar un nivel oficial de manera que se introduzca la menor confusión posible.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) utiliza el origen de altitudes, que en la Península corresponde al Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) en la década 1870-1880. A él se refieren las altitudes geométricas de las señales geodésicas distribuidas por la geografía peninsular española y constituye la referencia nacional terrestre. En las islas el IGN utiliza normalmente como cero el nivel medio del mar local.

Figura 3. Nivelación del mareógrafo de Ferrol

Las cotas sobre el NMMA que utiliza Puertos del Estado fueron proporcionadas por el IGN, que realiza una nivelación cada uno de los mareógrafos en el momento de su instalación.

Cada puerto, por su parte, define un nivel de referencia o cero conveniente para la realización de obras, dragados, etc.; que se conoce con el nombre de cero del puerto. Los mareógrafos de la REDMAR están en general referidos al cero del puerto.

Para controlar la estabilidad de la referencia de los mareógrafos se utilizan al menos, dos señales de referencia: una junto al mareógrafo y otra en un lugar más estable nivelada con la anterior (señal principal de referencia). Se trata de detectar posibles asentamientos del muelle en que se encuentra el sensor, que producirían una falsa elevación del nivel del mar. Estos clavos deben pertenecen o están atados a la Red Geodésica Nacional, para poder relacionar los niveles entre diferentes estaciones.

Más información de las cotas y referencias de nivel del mar en el siguiente documento (disponible en la página web de Puertos del Estado):

http://portus.puertos.es//Portus/pdf/referencias/Descripcion_Referencia_NivelDelMar_es.pdf

Parámetros disponibles

De manera general el conjunto REDMAR dispone de los parámetros indicados más abajo.

- Nivel del Mar (series de 5 minutos y horarias)
- Residuo Meteorológico (horario)
- Extremos
  - Diarios
  - Mensuales
  - Anuales
- Niveles Medios
  - Diarios
  - Mensuales
  - Anuales
- Carreras de Marea
- Constantes Armónicas
  - Anuales
  - Promedio

Adicionalmente, los mareógrafos de radar miden también oleaje (agitación), disponiendo de los parámetros siguientes cada 20 minutos:

- Altura Significante espectral
- Periodo Medio Espectral

Puntos de medida disponibles

La figura 4 muestra de la distribución geográfica de los mareógrafos de la REDMAR que estaban operativos en octubre de 2014.

La tabla 1 muestra la lista de mareógrafos operativos en el momento de publicación de este documento. No obstante y puesto que las redes de medida se encuentran en constante evolución, se aconseja consultar periódicamente la composición de la Red de Mareógrafos en la página web de Puertos del Estado a través de la ruta:

www.puertos.es > Oceanografía > Previsión, tiempo real y clima

o bien, con el enlace directo:

http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx

Dicho enlace proporciona información detallada de la configuración y emplazamiento de cada mareógrafo y permite, además, consultar en tiempo real los datos generados por dicha red y los periodos de funcionamiento.

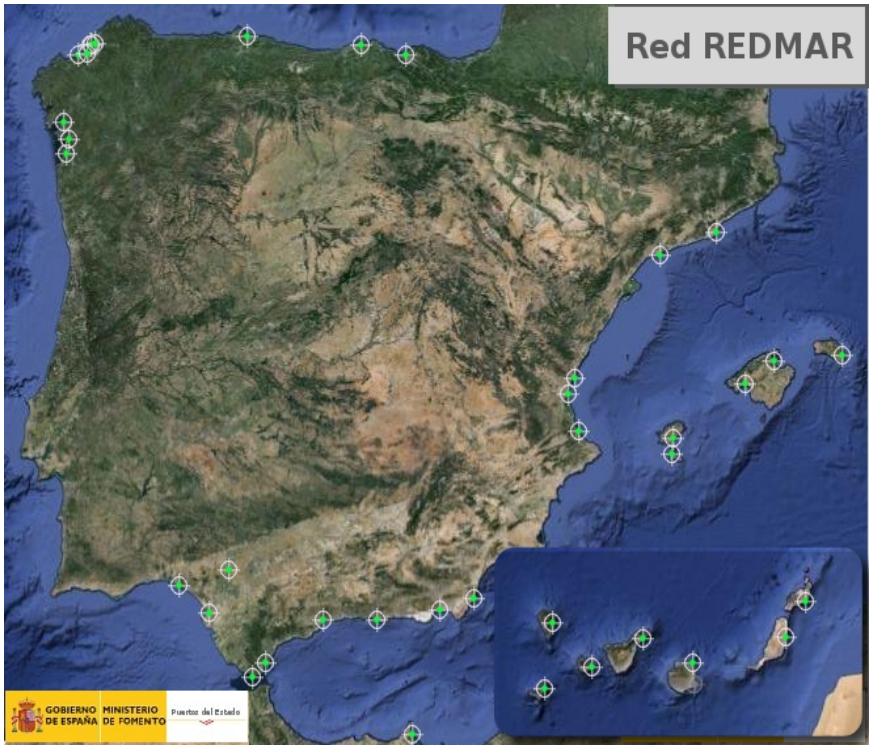


Figura 4. Distribución de los mareógrafos REDMAR en el 2015

Por otro lado, la página web de Puertos del Estado, en la sección de Datos Históricos, permite consultar las series históricas de datos de nivel del mar registradas por estos mareógrafos, además de informes climáticos realizados sobre toda la serie de datos disponibles. Dichos informes se encuentran en formato pdf y muestran, por separado, el comportamiento del rango medio y el rango extremal de los datos.

Finalmente, para solicitar series temporales de datos o bien informes climáticos es necesario enviar un correo electrónico a la atención de "Susana Pérez" (sperez@puertos.es) o a la de Pilar Gil (pilar@puertos.es).

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Inicio Medidas	Muestreo	Instalación
3108*	Mareógrafo de Gijón 2	43.56	-5.69	1995-06-29	1 minuto	Permanente
3109	Mareógrafo de Santander 2	43.466	-3.79	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3114	Mareógrafo de Bilbao 3	43.356	-3.04	1992-07-02	1 minuto	Permanente
3211	Mareógrafo de Ferrol 3	43.46	-8.33	2014-05-21	1 minuto	Temporal
3212	Mareógrafo de Ferrol 4	43.47	-8.32	2014-05-21	1 minuto	Temporal
3214	Mareógrafo de Langosteira	43.35	-8.53	2012-11-12	1 minuto	Permanente
3215	Mareógrafo de Ferrol 1	43.46	-8.33	2006-12-22	1 minuto	Permanente
3217	Mareógrafo de Ferrol 2	43.48	-8.25	2006-10-25	1 minuto	Permanente
3219	Mareógrafo de A Coruña 2	43.36	-8.39	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3220	Mareógrafo de Villagarcía 2	42.60	-8.77	1997-04-18	1 minuto	Permanente
3221*	Mareógrafo de Vigo 2	42.24	-8.73	1992-11-01	1 minuto	Permanente
3223	Mareógrafo de Marin	42.41	-8.69	2009-12-22	1 minuto	Permanente
3329	Mareógrafo de Huelva 5	37.13	-6.83	1996-09-13	1 minuto	Permanente
3333	Mareógrafo de Bonanza 2	36.80	-6.34	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3337	Mareógrafo de Sevilla 2	37.32	-6.01	2011-11-15	1 minuto	Permanente
3450	Mareógrafo de Las Palmas 2	28.14	-15.41	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3459	Mareógrafo de El Hierro 2	27.78	-17.90	2004-05-01	1 minuto	Permanente
3463	Mareógrafo de Gomera	28.09	-17.11	2006-11-22	1 minuto	Permanente
3465	Mareógrafo de La Palma	28.68	-17.77	2006-11-14	1 minuto	Permanente
3469	Mareógrafo de Fuerteventura 2	28.49	-13.86	2004-01-01	1 minuto	Permanente
3470	Mareógrafo de Lanzarote-Arrecife	28.97	-13.53	2008-03-07	1 minuto	Permanente
3471	Mareógrafo de Tenerife 2	28.48	-16.24	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3510	Mareógrafo de Melilla	35.29	-2.93	2007-10-24	1 minuto	Permanente
3540*	Mareógrafo de Tarifa	36.01	-5.60	2009-07-22	1 minuto	Permanente
3541*	Mareógrafo de Algeciras	36.18	-5.4	2009-07-22	1 minuto	Permanente
3543	Mareógrafo de Motril 2	36.72	-3.52	2005-01-01	1 minuto	Permanente
3545*	Mareógrafo de Almería	36.83	-2.48	2006-07-01	1 minuto	Permanente
3546	Mareógrafo de Malaga 3	36.71	-4.42	1992-07-01	1 minuto	Permanente
3547*	Mareógrafo de Carboneras	36.97	-1.90	2013-06-25	1 minuto	Permanente

Tabla 1. Mareógrafos de la REDMAR operativos en 2015 (continua)

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Inicio Medidas	Muestreo	Instalación
3651	Mareógrafo de Valencia 3	39.44	-0.31	1992-10-01	1 minuto	Permanente
3655	Mareógrafo de Sagunto	39.63	-0.21	2007-09-01	1 minuto	Permanente
3656	Mareógrafo de Gandía	38.99	-0.15	2007-09-01	1 minuto	Permanente
3756*	Mareógrafo de Tarragona	41.08	1.21	2011-05-30	1 minuto	Permanente
3758	Mareógrafo de Barcelona 2	41.34	2.17	1993-01-01	1 minuto	Permanente
3851	Mareógrafo de Palma de Mallorca	39.56	2.64	2009-09-14	1 minuto	Permanente
3853	Mareógrafo de Alcudia	39.83	3.14	2009-09-14	1 minuto	Permanente
3855	Mareógrafo de Formentera	38.73	1.42	2009-09-28	1 minuto	Permanente
3856	Mareógrafo de Ibiza 2	38.91	1.45	2003-01-01	1 minuto	Permanente
3860	Mareógrafo de Mahón	39.89	4.27	2009-11-02	1 minuto	Permanente

Tabla 1. Mareógrafos de la REDMAR operativos en 2015

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico

1-ago-2018

Número.....: **64120**
Nombre.....: **Fonfría**
Municipios: Nules
Provincias: Castellón/Castelló
Fecha de Construcción.....: 01 de marzo de 1988
Pilar sin centrado forzado..: 1,20 m **de alto,** 0,27 m **de diámetro.**
Último cuerpo.....: 0,08 m **de alto,** 1,00 m **de ancho.**
Total cuerpos.....: 1 **de** 0,08 m **de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 0° 06' 05,4768"	- 0° 06' 09,82081" ±0.09 m
Latitud.....:	39° 50' 10,0644"	39° 50' 05,83934" ±0.092 m
Alt. Elipsoidal...:		73,708 m ±0.094 (BP)
Compensación.:	01 de junio de 1991	01 de noviembre de 2009

Elipse de error al 95% de confianza.

Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	748034,06 m	747923,810 m
Y.....:	4413665,60 m	4413456,405 m
Factor escala....:	1,000357402	1,000356785
Convergencia...:	1° 51' 28"	1° 51' 25"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 23,463 m. (BP)

Situación:

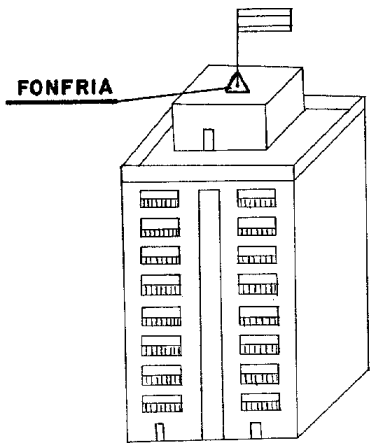
Situado sobre la caseta de ascensores del edificio nº 81 de la Avda. de las Islas Columbretes, en el barrio marítimo de Nules.

Acceso:

Desde el pueblo de Nules, se sale hacia la playa por el camino del Cabezol. Al llegar a la playa se toma a la izquierda la Avda. de las Islas Columbretes y al final de la calle, en el nº 81, sobre la caseta de ascensores, se sitúa el vértice, desde el cual se ve toda la vuelta de horizonte totalmente despejada.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

Estado: 30 de octubre de 2008
Pilar: Bueno **Base:** Bueno
Informe del estado del Vértice: ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.
@ anulado, © no pertenece a bloque de compensación, ® recrecido, reparado o reconstruido.

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Cartografía de situación

1-ago-2018

Escala 1:25.000 | **064120 Fonfría** | **Coordenadas ETRS89. Huso 30**

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico

1-ago-2018

Número.....: **64111**
Nombre.....: **Mascarell**
Municipios: Nules
Provincias: Castellón/Castelló
Fecha de Construcción.....: 01 de marzo de 1988
Pilar con centrado forzado..: 1,20 m **de alto,** 0,30 m **de diámetro.**
Último cuerpo.....: 0,50 m **de alto,** 1,00 m **de ancho.**
Total cuerpos.....: 1 **de** 0,50 m **de alto.**

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
Longitud.....:	- 0° 08' 30,9415"	- 0° 08' 35,30403"
Latitud.....:	39° 51' 46,8214"	39° 51' 42,60822"
Alt. Elipsoidal...:		75,545 m (CF)
Compensación.:	01 de junio de 1991	28 de noviembre de 2004

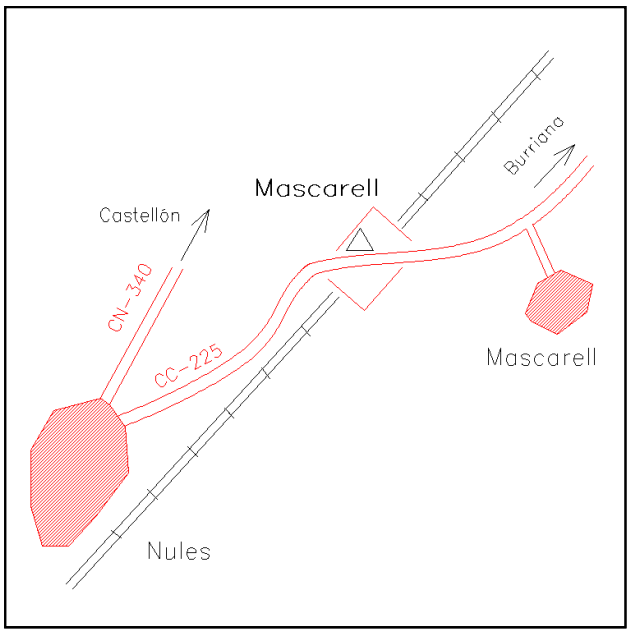
Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.:	ED 50	ETRS89
X.....:	744480,32 m	744369,756 m
Y.....:	4416537,98 m	4416329,095 m
Factor escala....:	1,000335847	1,000335236
Convergencia...:	1° 49' 58"	1° 49' 55"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 23,947 m. (BP)

Situación:

Situado sobre el estribo de un puente existente sobre la vía férrea de Valencia a Castellón.



Acceso:

Desde la carretera que lleva de Nules a Burriana, pasando por la gasolinera, a unos 800 m. de ésta, se encuentra un puente nuevo, construído en paso elevado sobre el ferrocarril, con el fin de eliminar el peligroso paso a nivel que existía. Se proyecta situarlo sobre el saliente del lado derecho del puente, siguiendo el sentido Nules-Burriana, siendo factible situarlo en el lado izquierdo. Desde el vértice se ve toda la vuelta de horizonte totalmente despejada.Consultado con la Consellería, se decide situarlo en el lado izquierdo definitivamente.

Horizonte GPS:

Despejado

Observaciones:

REGENTE.Estado: La cabeza del Pilar sólo conserva dos de los tres centrados forzados y presenta una grieta que pasa por su centro.
Vértice observado con GPS.

Estado: 30 de octubre de 2008
Pilar: Desperfectos **Base:** Bueno

Informe del estado del Vértice: ftp://ftp.geodesia.ign.es/utilidades/InfoRG.pdf

CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Suelo.
@ anulado, © no pertenece a bloque de compensación, ® recrecido, reparado o reconstruido.

GOBIERNO DE ESPAÑA | MINISTERIO DE FOMENTO | INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

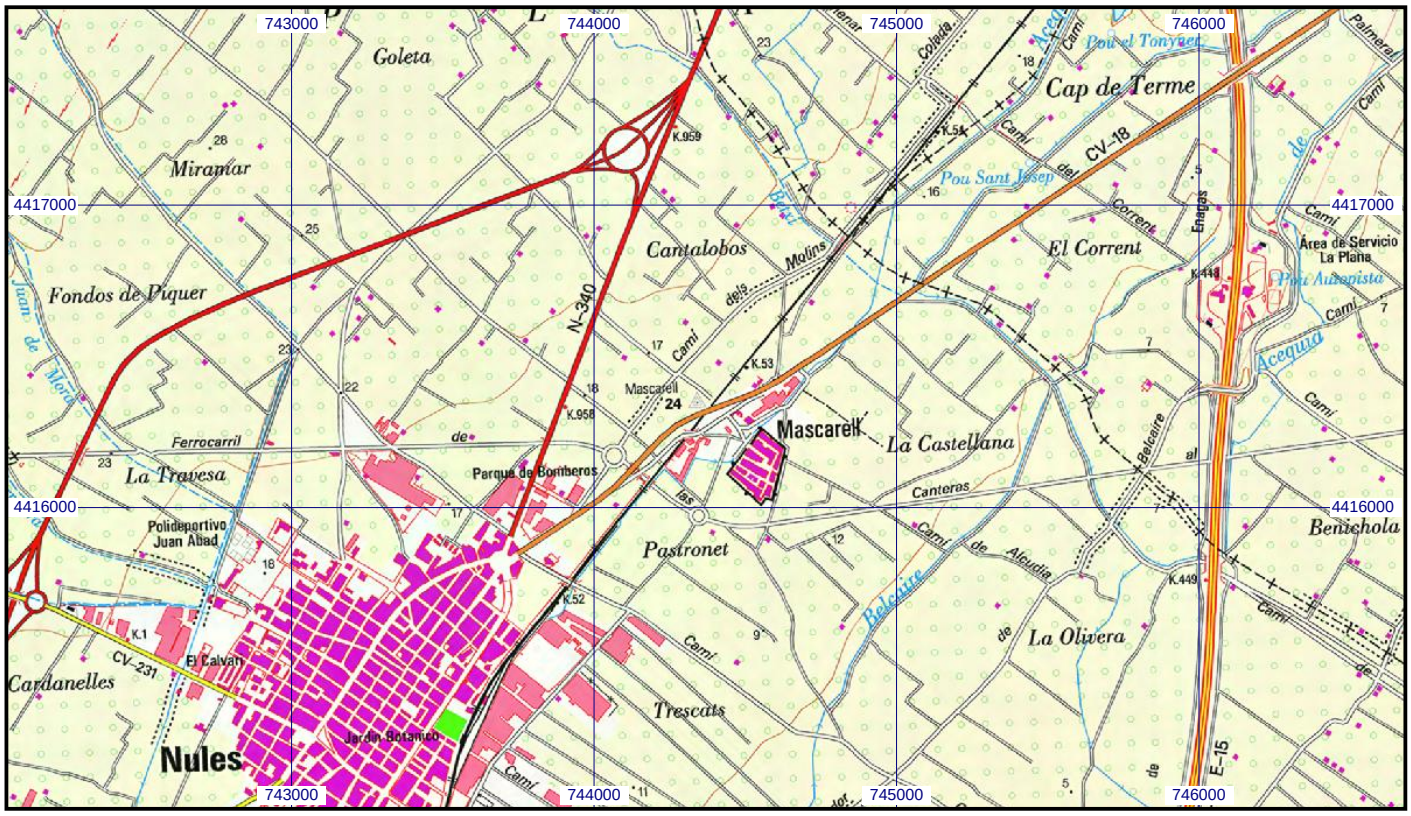
Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Cartografía de situación

1-ago-2018

Escala 1:25.000 | **064111 Mascarell** | **Coordenadas ETRS89. Huso 30**



Estación Permanente **BORR** **Descripción Técnica**

(Borriana - Castellón)

Red ERVA: Estaciones de Referencia GNSS de VAlencia

Antena

Receptor

Tablas de Calibración de antenas:

http://www.epncb.oma.be/ftp/station/general/antenna.gra

ftp://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/igs08.atx

ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/epn_08.atx

ftp://epncb.oma.be/pub/station/general/epn_05.atx

Coordenadas en:

http://icvficheros.icv.gva.es/ICV/geova/erva/Estaciones/Descripcion_Estaciones

Croquis Antena

Tabla IGS08.ATX

```
TRM59900.00  NONE
                    -----
                   /     +     \                    <--  0.128 L2
                  |      +      |                   <--  0.110 L1
  +-----------------------------------------------+  <--  0.102 TCR
  |                                               |
  |                                               |
  |                                               |
+-+-----------------------------------------------+-+ <--  0.038
+-------------------+-------------+-----------------+ <--  0.035 BCR
                    |             |
                    +-----|x|-----+                   <--  0.000 ARP
                    ++++++++++++++                     |
                   /               \                   |
                  |___             ___|                |
                    +--+       +--+                    |0.130 m
                    |             |                    |
                   +----+-------+----+                  |
                   +-----------------+                  |
                    =--=         =--=                   |
                  +==========x==========+               <--+ Marker
<--                      0.381                     -->
 ARP: Antenna Reference Point
   L1 : L1 Phase Center                  L2 : L2 Phase Center
  BCR: Bottom of Chokering       TCR: Top of Chokering
```

Información adicional

Datos tiempo real: Registro en http://icverva.icv.gva.es:8080

-Correcciones en formato RTCM 2.3, RTCM 3.0 en base simple

-Correcciones en solución de red (base virtual-VRS) y RTCM 3.1-MAC

Datos post-proceso: Ficheros RINEX en www.icv.gva.es / http://icverva.icv.gva.es:8080

Consultas e-mail : ervaicv@gva.es ; responde_icv@gva.es

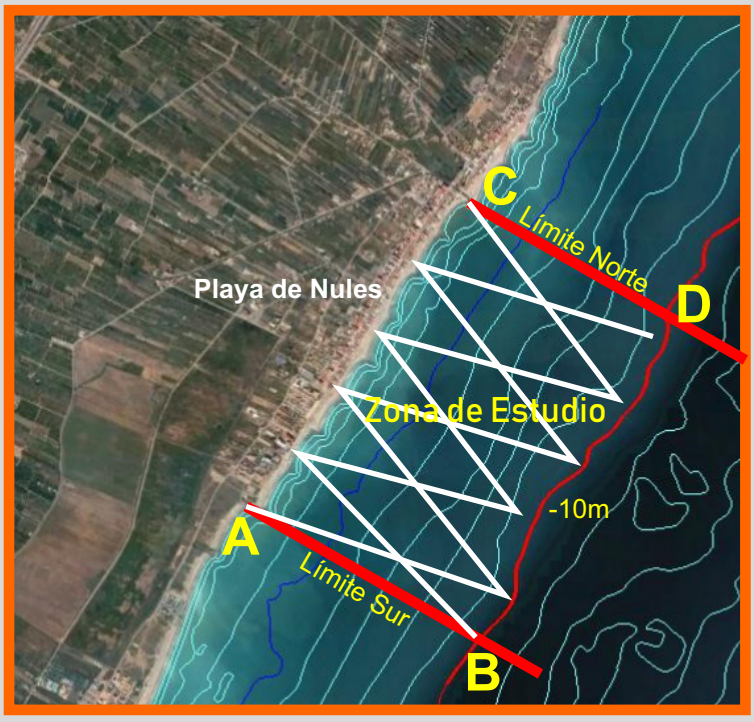
Extracto Metadatos, instrumental, modelo de antena y código IERS:

4-char station code:	BORR
station name:	BORR
station ID number:	13480M001
antenna ID number:	5550362320
antenna type:	**TRM59900.00 NONE**
antenna height (m):	**0.1300**
receiver ID number:	5544R50318
receiver type:	**TRIMBLE NETR9**
receiver firmware:	NP 5.03/ SP 5.03
RINEX version:	2.11
RINEX translator:	GPSNet 2.6 2653;TEQC

2.3.- Anejo de biocenosis.

UTE LES MARINES

ESTUDIO DE BIOCENOSIS BENTÓNICAS MARINAS EN UN TRAMO FRENTE A LA COSTA DE NULES (CASTELLÓN)



Código: INF 2018_058.V0

NOVIEMBRE 2018

Saplaya consultores s.l.

INDICE

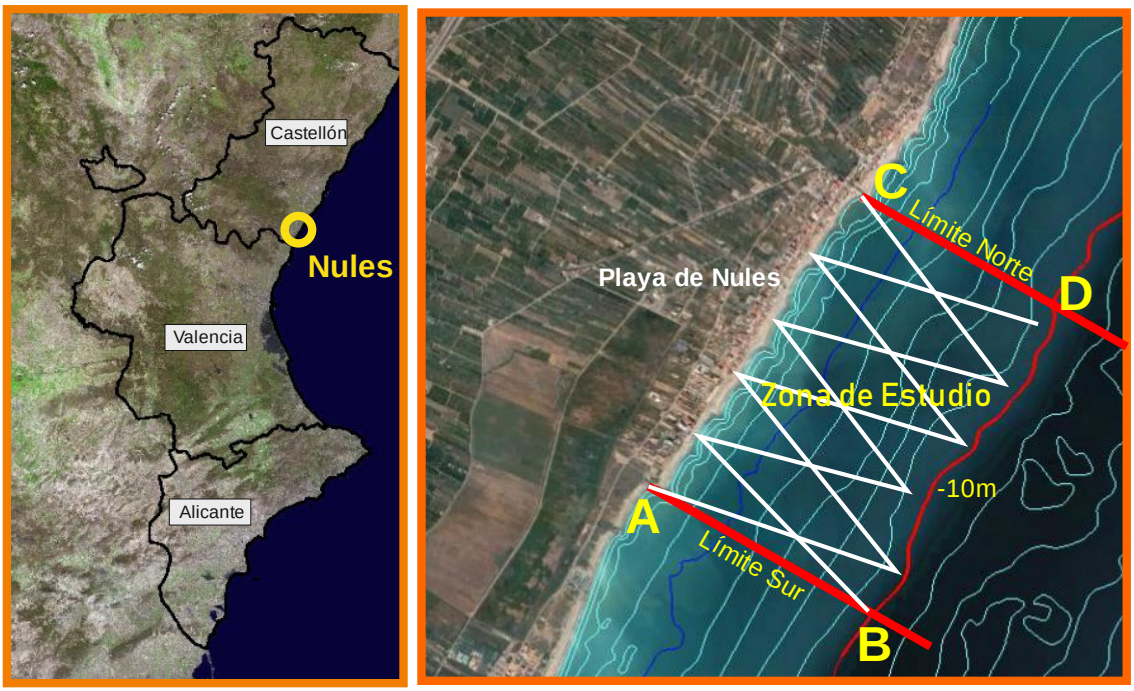
1. Introducción 1
2. Planteamiento del trabajo. 3
2.1. Recopilación de información 3
2.2. Exploración. 4
2.2.1. En substratos rocosos 4
2.2.2. Recubrimientos vegetales. 6
2.2.3. Estaciones de muestreo 7
3. Resultados. 8
3.1. Descripción general del entorno marino. 8
3.1.1. Consideraciones ecológicas generales. 8
3.1.2. Descripción general del entorno bentónico de la zona de estudio. 11
3.2. Poblamientos bentónico sobre susbtrato sedimentario. 12
3.3. Poblamientos bentónico sobre substrato duro. 14
3.3.1. Biocenosis de la roca supralitoral. 14
3.3.2. Biocenosis de la roca mesolitoral y del infralitoral superior 15
3.3.3. Bioconcrecionamientos. 16
3.4. Pradera de *Cymodocea nodosa*. 18
3.5. Pradera de *Caulerpa prolifera*. 21
4. Conclusiones. 23

ANEJO CARTOGRÁFICO. PLANO 1. Distribución de Comunidades bentónicas.

1. INTRODUCCIÓN

Se ha solicitado a Saplaya consultores s.l. la realización de un estudio sobre la distribución de las biocenosis bentónicas del medio marino en un tramo del litoral frente al municipio de Nules.

En la figura siguiente se indica la zona del litoral sobre la que se ha planteado el trabajo. El frente litoral tiene una longitud de unos 2.000m y la zona de estudio se extiende en el medio marino desde la costa hasta la isobata de -10m.



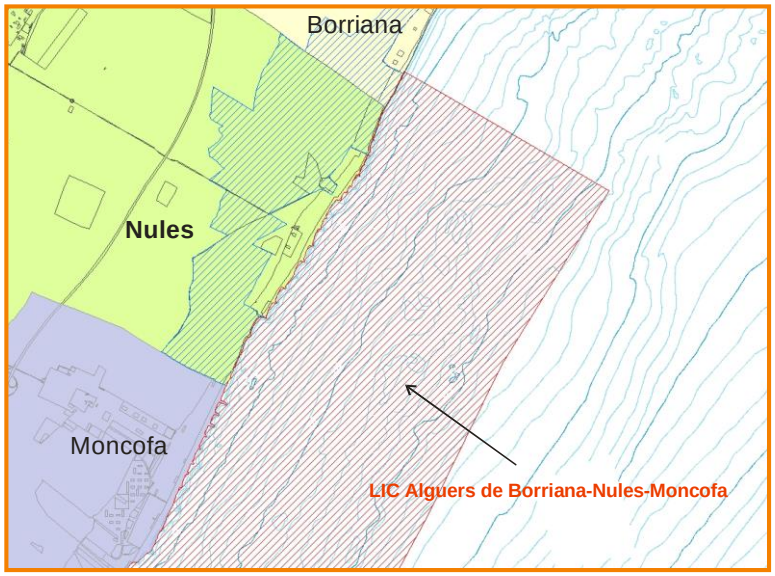
Localización de la zona de actuación

Vértice	Coord X	Coord Y
A	746708	4411472
B	747832	4410850
C	747724	4413013
D	748727	4412485

Coordenadas de localización de la zona de estudio. (ETRS89 UTM HUSO 30)

La población de Nules se localiza en la provincia de Castellón entre los municipios de Burriana y Moncofa. Como se observa en la figura siguiente, los fondos marinos del tramo de costa a estudio están incluidos en el *LIC Alguers de Borriana-Nules-Moncofa*, el cual presenta como singularidad ambiental la presencia de áreas del fondo marino

con recubrimientos de las fanerógamas marinas *Cymodocea nodosa* y *Posidonia oceanica.*



Localización del espacio protegido LIC Alguers de Borriana-Nules-Moncofa

En este documento se presenta los resultados de los trabajos realizados así como la metodología empleada tanto en los trabajos de campo como en los trabajos de gabinete.

2. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO.

El planteamiento del estudio se ha basado en dos actividades o fases. La primera de ellas ha consistido en la recopilación de información bibliográfica y cartográfica sobre la zona de estudio. A partir del estudio de la información recopilada se planteará la realización de trabajos de exploración subacuática la cual se centrará, principalmente, en las fanerógamas marinas, dada su relevancia ecológica en interés conservacionista.

2.1. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN.

El primer paso del estudio ha consistido en la búsqueda y recopilación de la información biblliográfica y cartográfica que pudiera existir sobre el entorno de la zona de estudio. En este primer paso, la zona de estudio se va a considerar en un sentido más amplio, es decir considerando un entorno más extenso que el señalado anteriormente, con la finalidad de disponer de información de conjunto suficiente sobre la estructuración bionómica del entorno marino del que el frente litoral de Nules forma parte.

En este sentido, conviene destacar que la información cartográfica básica a utilizar en este estudio ha sido la derivada del *Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón,* realizado en 2009 por el entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente[1]. También se han consultado la información existente en el visor Geoportal del Instituto Español de Oceanografía[2] y el visor de Acuicultura (Acuivisor) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación[3].

Con la información recopilada se elabora una base cartográfica en la que se representará, básicamente, la distribución de comunidades bentónicas y de la tipología de substratos existentes en un entorno amplio respecto de la zona de estudio.

A partir de esa información se plantean el resto de actividades a desarrollar y que se describen en los apartados siguientes

[1] Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón. (2010). https://www.miteco.gob.es
[2] Geoportal de la Infraestructura de Datos Espaciales del Instituto Español de Oceanografía. www.geo-ideo.ieo.es
[3] www. mapa.gob.es/es/pesca

2.2. EXPLORACIÓN.

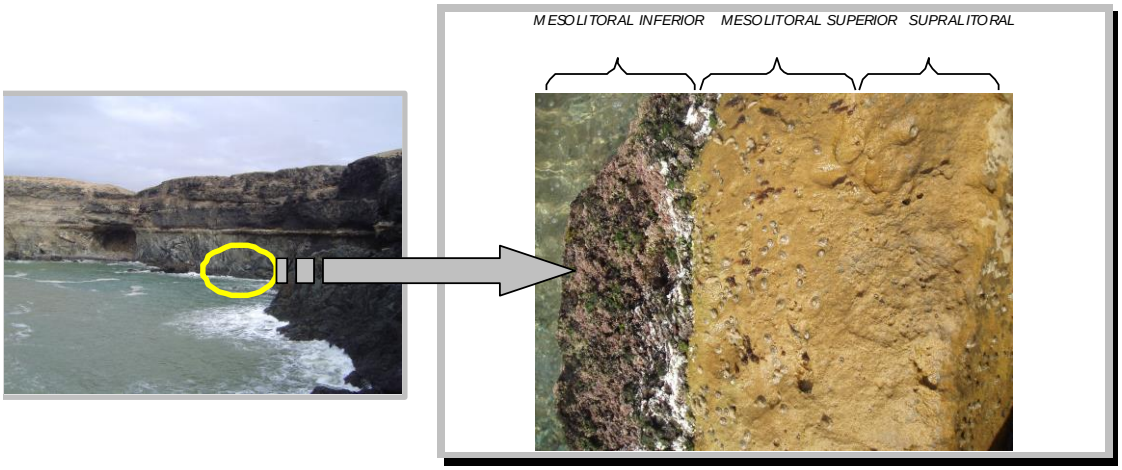
Con toda la información recopilada y a partir de la cartografía elaborada se plantearan los trabajos de exploración. En este caso, y con la finalidad de disponer de la suficiente información ambiental para la evaluación de afecciones por parte de la actuación antrópica prevista, se plantea que la zona de exploración contemple todo el litoral frente al término de Nules y, al mismo tiempo, se extienda 1km al norte y al sur de la zona de actuación así como 2km mar adentro.

2.2.1. En substratos rocosos.

El método propuesto para la inspección del litoral rocoso antropizado existente en la zona de estudio (espigones y escolleras) se basa en el conocido como *método CARLIT* (Ballesteros et. al. 2007)[4]. Si bien este método está planteado esencialmente para entornos no atropizados, su diseño permite disponer de información bien estructuras sobre los recubrimientos algares. Además este método permite disponer de una herramienta para la obtención de valores de calidad ambiental en función de los poblamientos vegetales de la zona rocosa litoral, en consonancia con los preceptos marcados por la Directiva Marco del Agua.

El método, en líneas generales, consiste en la realización de recorridos paralelos a la línea de costa con una pequeña embarcación que permita aproximarse a uno 3 metros de la costa, y mediante observación visual se va anotando sobre una base cartográfica las características de los recubrimientos macroalgares en concreto los recubrimientos dominantes de la zona litoral. En el presente caso y dada la escasa batimetría de la zona la prospección se ha llevado a cabo en apnea.

[4] A new methodology based on littoral community cartography by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin 55, 172-180.



Este trabajo de muestreo se complementa con un adecuado registro fotográfico de los aspectos identificados.

Los trabajos de exploración del litoral rocoso se llevan a cabo en base a unidades de unos 50 metros como se señala en la figura siguiente. El método CARLIT se basa en la existencia de una tendencia general en la respuesta de la comunidad superficial dominante de macroalgas a las alteraciones de origen antrópico, y por tanto la comparación entre los resultados obtenidos en el campo y los que se consideran propios de un entorno sin alteración (*condiciones de referencia*) conforme a la bibliografía citada, permite desarrollar una valoración del estado de calidad ambiental del entorno litoral rocoso.

Ejemplo de un diseño de zonificación en unidades de 50m.

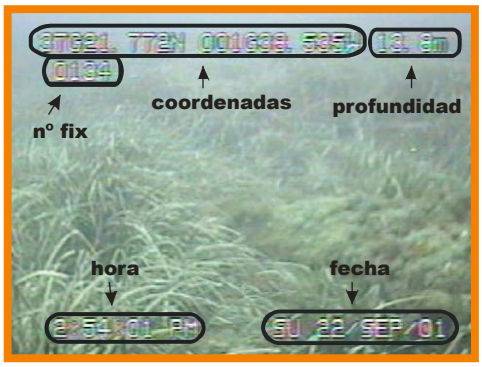
En el presente estudio este método se va a emplear tanto para conocer la estructuración bionómica de los substratos rocosos como para establecer el estado de calidad ecológica de los mismos.

2.2.2. Recubrimientos vegetales.

Esta actividad va dirigida esencialmente a la localización y estudio preliminar de los recubrimientos que fanerógamas marinas se citan en dentro de la zona de estudio. En concreto de *Cymodocea nodosa*. Además, también se identificarán aquellos otros recubrimientos algares extensos y se han citado en la cartografía de referencia, referido en este caso a praderas de *Caulerpa prolifera*.

Estos trabajos de exploración se han desarrollado mediante transectos de vídeo remolcado.

Cámara de vídeo remolcada



Ejemplo de datos registrados en la grabación

Los trabajos de exploración se han realizado sobre las áreas de distribución de las fanerógamas marinas conforme a la cartografía de referencia y los principales aspectos a recoger durante estos trabajos serán:

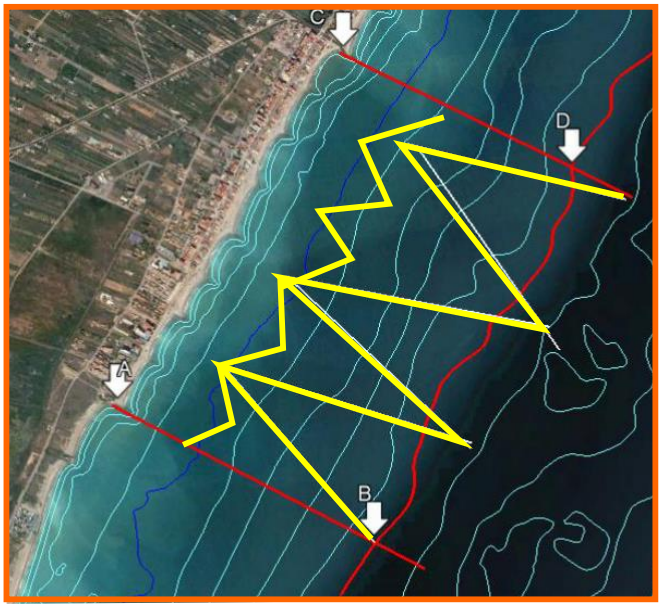
- Localización de los límites de los recubrimientos, donde la finalidad principal será la de conocer la distancia de los mismos a los hitos del proyecto (espigones y zonas de aporte de sedimentos).
- Extensión de las áreas de los recubrimientos, con la finalidad de actualizar los datos sobre la extensión de las mismas.
- Localización de posibles zonas de muestreo en inmersión para el desarrollo de las actividades de tomas de datos sobre el estado de la pradera.

El análisis en gabinete de las grabaciones realizadas servirá para conocer la estructuración de las praderas de *Cymodocea nodosa* conforme a la siguiente clasificación:

1. **Pradera continua**: aquella que presenta una superficie de más de 50m2 y que recubre el fondo de manera continua.
2. **Pradera discontinua**: recubre un área considerable, pero que presenta surcos y diferentes franjas donde no hay presencia de la planta.
3. **Pradera formada por manchas**: presenta unas separaciones suficientemente marcadas entre las diferentes franjas de pradera, de modo que se ve claramente que no están unidas entre sí formando un continuo.
4. **Haces aislados**: no llegan a constituir una pradera como tal, que se trata más bien de una pradera en fase de colonización de un nuevo espacio, o bien en fase de regresión.

2.2.3. Estaciones de muestreo.

En la figura siguiente se representan las líneas de exploración llevadas a cabo en la zona de estudio. La distribución de la misma se ha desarrollado a la vista de la distribución de los recubrimientos en la cartografía de referencia.



Líneas de exploración mediante cámara remolcada

3. RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en los trabajos de exploración con cámara remolcada han permitido comprobar que la extensión y límites de las zonas del bentos con recubrimiento de fanerógamas marinas, se corresponden con las descritas en la cartografía de referencia. Se han observado ligeras diferencias en la localización del límite superior de la pradera de *Cyomodocea nodosa*, si bien no se han considerado significativas a los efectos del presente trabajo dada la relativa variabilidad temporal que estos límites pueden presentar en zonas de reducida profundidad donde la estabilidad de estos recubrimientos suele ser variable de unos años a otros, por ejemplo, por efecto de temporales.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ENTORNO MARINO.

3.1.1. Consideraciones ecológicas generales.

La bionomía béntica, o estudio de la distribución y estructura de las biocenosis o comunidades presentes en los fondos, es el método más adecuado para establecer de una manera precisa las características ecológicas de un medio marino, y poder interpretar la influencia que tienen los distintos factores ambientales en el estado de desarrollo y conservación de los poblamientos que se presentan en él. Por esto resulta conveniente especificar algunos conceptos básicos de bionomía béntica antes de exponer y discutir los resultados del estudio realizado.

En este sentido se define como biocenosis el conjunto de organismos que, por su composición específica y por la proporción relativa entre los individuos de cada especie, corresponden a ciertas condiciones del medio, en las que sus elementos están relacionados por una dependencia recíproca, y que se mantienen y se reproducen en un cierto entorno de forma permanente.

Conforme a este concepto los diferentes poblamientos bentónicos se distribuyen en el fondo respondiendo inequívocamente a unas determinadas condiciones del medio, delimitadas por los rangos de variación de una serie de factores ambientales, que pueden ser de dos tipos: Climácicos, o Edáficos.

Los factores climácicos son humectación, iluminación y presión, y determinan la división en pisos. El primero actúa en los pisos supralitoral y mesolitoral, definiendo el primero como la zona que sólo está expuesta a las salpicaduras de las olas y el rocío marino, y el segundo como la zona que se encuentra sometida a periodos alternativos de emersión e inmersión.

La iluminación es el principal factor climácico que actúa en las capas superiores de la zona permanentemente sumergida. El piso infralitoral correspondería a la zona somera, bien iluminada, cuyo límite inferior, viene definido por la profundidad en la que la iluminación que llega al fondo permite la supervivencia de fanerógamas marinas o poblamientos de algas fotófilas. El piso circalitoral se extendería desde este nivel hasta la profundidad en la que la iluminación es todavía suficiente para la supervivencia de las algas macrofitas (esciáfilas).

La presión sería determinante para los poblamientos de los fondos más profundos, de los pisos batial, abisal y hadal, que no son abarcados en este trabajo.

Dentro de cada piso, en la presencia y distribución de las diferentes biocenosis influyen los factores edáficos, entre los que se incluyen la naturaleza del substrato, el hidrodinamismo, la carga de partículas orgánicas y los factores antrópicos de contaminación o degradación mecánica.

La tipología del sustrato condiciona en gran medida las biocenosis que se pueden instalar en cada piso, estableciendo un nivel de clasificación en función de fondos de sustratos duros o fondos de sustratos sueltos. Dentro de cada tipología de sustrato influye mucho el hidrodinamismo, y después el resto de los factores edáficos.

El desarrollo de las propias biocenosis constituye también en sí mismo un factor edáfico en cuanto a su capacidad para moldear las condiciones del medio, favoreciendo un proceso natural de evolución biocenótica que, a través de sucesivas fases, conduce a la instalación del poblamiento que mejor aprovecha los recursos energéticos del medio, y que determina la comunidad Climax.

En el piso infralitoral del Mediterráneo, este climax está representado por las praderas de *Posidonia oceanica*, lo que quiere decir que tenderán a instalarse sobre todos los

sustratos siempre que no existan factores edáficos que limiten su desarrollo. En fondos someros el hidrodinamismo es el factor edáfico limitante, pero cuando este se atenúa por la topografía de la costa, o por la presencia de relieves que frenen el oleaje, *Posidonia* puede presentarse en fondos tan someros que sus hojas tocan la superficie del agua.

La propia existencia de sedimentos arenosos movidos por el oleaje es otra combinación de factores edáficos que limita el crecimiento de *Posidonia*, de forma que a nivel de costas con playas arenosas el límite de la pradera se sitúa a mayor profundidad que en las zonas de costa rocosa.

El límite inferior de las praderas lo marca la transparencia de las aguas, determinando la profundidad en la que la planta no recibe ya suficiente iluminación para desarrollar su actividad fotosintética.

En el piso circalitoral, con unos niveles de iluminación restringidos, la biocenosis climax es el Coralígeno, que puede desarrollarse tanto sobre substratos duros como a partir de fondos sedimentarios, debido al desarrollo de bioconcrecionamientos formados por los talos de las algas calcáreas que caracterizan esta comunidad. Generalmente existe un equilibrio dinámico de formación y destrucción del bioconcrecionamiento en función del cual se establece la biocenosis del Coralígeno o la de los Fondos Detrítico Costeros.

La topografía local, las corrientes a nivel del fondo, el contenido en partículas en suspensión, y la deposición sedimentaria, son los factores que controlan a tendencia de evolución hacia el climax, pudiendo considerarse el resto de biocenosis como estados de transición condicionados por uno o varios de estos factores edáficos.

Conociendo estas relaciones entre las biocenosis y los factores ambientales, la distribución espacial y batimétrica de los poblamientos de una zona determinada aporta información de gran utilidad, para comprender el funcionamiento ecológico de un ecosistema bentónico, y para interpretar las posibles consecuencias de las acciones antrópicas que se desarrollen en su entorno. En estos conceptos se basa el estudio realizado y con arreglo a ellos se establece la clasificación de los poblamientos encontrados en esta zona, que se describen a continuación.

3.1.2. Descripción general del entorno bentónico de la zona de estudio.

La zona costera de del área de estudio ha estado sometida desde hace años a importantes procesos de erosión, lo que ha motivado la adopción de diferentes medidas de protección de la costa en todo el litoral de Nules, dando lugar a un entorno litoral totalmente antropizado.

De esta forma la zona litoral se caracteriza por presentar un entorno sedimentario jalonado de substratos rocosos derivados de la presencia de las estructuras de protección. La antropización del litoral motiva que los poblamientos del mesolitoral e infralitoral superior sedimentario no respondan a modelos muy estructurados, ya que suponen un entorno bastante difícil de colonizar por las especies bentónicas. Sin embargo, los substratos duros artificiales presentan un importante recubrimiento algal, si bien responden a una estructuración típica de medios eutrofizados.

La zona sumergida permanentemente, piso infralitoral, se caracteriza por presentar un fondo sedimentario que se extiende hasta la batimétrica de -10m (límite profundo de la zona de estudio. Sobre este fondo sedimentario a partir de -4m de profundidad y hasta profundidades entre -7m y -8m se localizan zonas varias zonas con recubrimientos de *Caulerpa prolifera* sobre bioconcrecionamientos, Estos bioconcrecionamientos son substratos duros de origen biógeno formado por algas calcáreas, briozoos, esponjas, etc. Estos bioconcrecionamiento se forman a partir de la colonización de estos organismos de substratos duros preexistentes. A este respecto en la información bibliográfica consultada se señala la existencia en esta zona de áreas de substrato duro subyacente, por lo que es posible que estos bioconcrecionamientos se hayan originado por colonización de este substrato duro en zonas donde la roca aflore en superficie.

Las praderas de *Caulerpa prolifera* se han observado sobre estos substratos biogénicos y sobre el substrato sedimentario. En este punto conviene señalar que se ha detectado la presencia de forndes dispersos de la especie invasora *Caulerpa cylindracea.*

Recubrimiento de Caulerpa prolifera

A mayor profundidad, a partir aproximadamente de los 8m de profundidad, comienzan a localizarse haces dispersos de Cymodocea nodosa. En toda la zona explorada desde -8m hasta el final de la zona de estudio (-10m) lo que se ha observado es que el área de recubrimiento por Cymodocea nodosa no conforma un pradera densa, sino que más bien está estructurada como una pradera de baja densidad.

Pradera de Cymodocea nodosa

3.2. POBLAMIENTOS BENTÓNICO SOBRE SUSBTRATO SEDIMENTARIO.

La documentación bibliográfica señala para toda la zona sedimentaria de la zona de estudio la presencia de la biocenosis conocida como comunidad de *Arenas finas bien calibradas.*

Esta comunidad se incluye en el hábitat[5] de la *Arenas fangosas infralitorales y circalitorales (Código hábitat: 030402)* y en particular en el subhábitat *Arenas finas infralitorales bien calibradas (Código hábitat: 03040220)*.

Esta comunidad bentónica se localiza por debajo de los fondos de arenas finas superficiales, donde el oleaje deja de tener un efecto directo y relevante. En estos entornos aparecen unas arenas muy homogéneas de origen terrígeno poco enfangadas. Ocupan grandes extensiones del lecho marino alcanzando profundidades en torno a -20m o -25m, en aquellos fondos donde esta comunidad no tiene limitada su extensión por la presencia de praderas de fanerógamas marinas.

La fauna de este tipo de fondos está constituida mayoritariamente por moluscos, crustáceos, equinodermos y peces, con ausencia de algas y escasez de organismos suspensívoros. Entre los moluscos dominan diversas especies de bivalvos (*Chamelea gallina*, *Venerupis decussata*, *V.pullastra*, *Psammocola depressa*, *Cerastoderma edule*, *Donacilla cornea*, *Ensis ensis*, *Solen marginatus*, *Callista chione*, *Mactra stultorum*, *Spisula subtrucata*, *Dosinia lupinus*, *Tellina incarnata*) y gastrópodos de las familias Nassaridae (*Nassarius reticulatus*, *N. mutabilis*) y Naticidae (*Neverita josephina*, *Euspira catena*). Entre los poliquetos se pueden mencionar a *Nephthys hombergii*, *Glycera convoluta*, *Sigalion mathilde*, *Onuphis eremita*, *Eteone syphonodonta*, *Ophelia bicornis* y *Scoloplos armiger*, y entre los crustáceos son frecuentes los decápodos *Philocheras monacanthus*, *Diogenes pugilator*, *Portumnus latipes*, *Liocarcinus vernalis*, *Crangon crangon* o *Macropipus barbatus*. También están presentes algunos isópodos (*Eurydice pulcra*) y anfípodos (*Haustorius arenarius* y *Bathyporeia* spp.). Entre los equinodermos dominan las estrellas del género *Astropecten* y los erizos irregulares *Echinocardium cordatum* y *Echinocyamus pusillus*. Son también frecuentes diversas especies de peces, especialmente los peces planos, como *Scophthalmus rhombus* o *Bothus podas*, y otros como el raro (*Xyrichthys novacula*), las arañas de mar (*Trachinus draco*, *Echiichthys vipera*), los torpedos (*Torpedo marmorata*, *T. torpedo*) o el águila marina (*Myliobatis aquila*). En las costas atlánticas las especies más características de los fondos someros infralitorales de arenas finas ligeramente fangosas son *Echinocardium cordatum* y *Ensis* spp.

[5] *TEMPLADO, J.; BALLESTEROS, E., GALPASORO, I.; BORJA, A.; SERRANO, A.; MARTÍN, L.; BRITO, A. (2012). Inventario de Hábitats y Especies Marino. Guían interpretativa: Inventario español de hábitats marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 231pp.*

En la zona de estudio la fuerte antropización del litoral hace que la presencia de la comunidad de las Arenas finas superficiales no se haya detectado, por lo que el poblamiento bentónico del substrato sedimentario infralitoral de la zona de estudio se adscribiría a la comunidad de las Arenas finas bien calibradas. En el presente caso, esta comunidad se extendería hasta la zona más profunda del área de estudio.

Por último, como se ha comentado anteriormente, en la zona más profunda del área de estudio se ha localizado la presencia de un recubrimiento del fondo sedimentario por *Cymodocea nodosa*, lo que desde el punto de vista bionómico se relacionaría con un aspecto peculiar de esta comunidad y que se denomina ***facies de Cymodocea nodosa***.

3.3. POBLAMIENTOS BENTÓNICO SOBRE SUBSTRATO DURO.

En este punto se presentan los resultados de las observaciones de visu realizadas sobre los recubrimientos de los substratos rocosos artificiales existentes en toda la zona de estudio. Dada la escala del trabajo realizado, y la escasa amplitud vertical de estos poblamientos, en la representación cartográfica del anexo 1 no están presentes.

La descripción de las comunidades se va a realizar diferenciando entre los pisos supralitoral, mesolitoral e infralitoral, debiendo señalar que la práctica ausencia de mareas en esta zona del Mediterráneo hace que el piso mesolitoral, también conocido como intermareal, sea muy reducido en amplitud siendo difícil separar nítidamente entre los poblamientos mesolitorales y los del infralitoral superior, estando de hecho sus poblamientos muy mezclados. Por otra parte, la amplitud batimétrica del substrato rocoso en el infralitoral es también muynreducida ya que el substrato sedimentario llega casi hasta la misma línea de costa.

3.3.1. Biocenosis de la Roca Supralitoral.

El piso supralitoral que abarca la franja superior del dominio marino que corresponde a aquella zona de la costa que, aunque permanentemente emergida, mantiene un nivel alto de humectación debido al efecto aerosol de las rompientes y a las salpicaduras directas del oleaje. La *Biocenosis de la Roca Supralitoral* se caracteriza por la presencia de poblaciones variables de los gasterópodos *Littorina neritoides* y *Littorina punctata*, y del isópodo *Ligia italica*.

En la zona de estudio, encontramos esta comunidad en toda los substratos rocoso artificiales de la zona, en aquellos puntos donde la altura y amplitud de los mismos permite su instalación. La estructuración de la comunidad se corresponde con la descrita anteriormente.

Zona supralitoral

Detalle de la zona supralitoral. Littorina sp.

3.3.2. Biocenosis de la Roca Mesolitoral y del Infralitoral Superior.

El piso mesolitoral, zona de costa comprendida en el rango de oscilación del nivel medio del mar. Esta zona está sometida a periodos sucesivos de emersión e inmersión. Dada la escasa amplitud del rango de mareas en el Mediterráneo, es la oscilación del oleaje la responsable de la amplitud de esta comunidad.

En la zona de estudio se observa un recubrimiento algal dominado por *Corallina sp* y *Jania rubens*, por encima de las cuales se presenta el molusco *Patella sp*. Esta tipología de recubrimiento se localiza en las zonas más expuestas de los espigones.

Como se observa en una de las imágenes este recubrimiento se extiende tanto por el mesolitoral como por el infralitoral superior.

Por otra parte, en zonas menos expuestas, se identifica un recubrimiento algal nitrófilo formado por *Enteromorpha spp*, y *Mytilus galloprovencialis*, conformando lo que se conoce como *Facies nitrófila* típica de fondos tanto del mesolitoral como del infralitoral superior.

3.3.3. Bioconcrecionamientos.

Los fondos marinos explorados que se han denominado de substrato duro lo han sido por la presencia de recubrimientos derivado del importante desarrollo de bioconcrecionamientos.

En la zona de estudio estas formaciones se han detectado de forma dispersa y conjuntamente con las praderas de *Caulerpa prolifera*.

Detalle de los bioconcrecionamientos

Esos bioconcrecionamientos o concrecionamientos biológicos están constituidos por la acción concrecionante de diferentes organismos bentónicos como algas de talo duro o algas concrecionantes, briozoos, hidrozoos, poríferos, etc. que colonizan los substratos rígidos como roca y mata muerta, y a su muerte suponen en si mismos un nuevo substrato sobre el que instalarse, de forma que se acaban constituyendo a modo de substratos duros muy intricados y sobre los que se pueden instalare al mismo tiempo diferentes recubrimiento algales.

Este tipo de recubrimientos son propios de zonas más profundas (piso circalitoral), en ambientes esciáfilos y donde constituyen la comunidad de Coralígeno. Sin embargo en la zona costera del óvalo de Valencia se ha detectado, desde hace tiempo y de forma generalizada, la presencia de este tipo de formaciones a profundidades escasas aprovechando la existencia de áreas de mata muerta de rizoma de *Posidonia oceanica* y los substratos duros infralitorales, lo que sin duda estaría señalando la reducción de la penetración de la luz en la masa de agua marina. En el presente caso no se ha podido dilucidar si el substrato sobre el que se asientan es mata muerta de Posidonia oceánica o substrato duro.

Recubrimiento algal sobre bioconcrecionamientos

3.4. PRADERA DE *Cymodocea nodosa*.

Pradera de *Cymodocea nodosa* (030509-10) [6]. Esta fanerógama marina se enraíza en sedimentos finos, como arenas o arenas fangosas, en zonas con bajo hidrodinamismo y buena iluminación. *Cymodocea nodosa* tolera relativamente bien las bajas salinidades (de hecho, las praderas más densas suelen encontrarse en lagunas litorales) y los cambios de temperatura. Esta especie es principalmente mediterránea, aunque también aparece en el Atlántico, en las costas de Mauritania y en el archipiélago canario. A menudo forma praderas en las lagunas costeras o bahías resguardadas, donde suele aparecer acompañada de la clorofícea *Caulerpa prolifera* o de la fanerógama *Zostera noltii.* También puede formar praderas menos densas en zonas más abiertas y profundas (hasta 30m), siempre que no estén sometidas a un fuerte hidrodinamismo y acumulen cierta cantidad de materia orgánica. En estos lugares parece ser la fase previa a la pradera de *Posidonia oceanica.* Por lo tanto, esta comunidad se puede encontrar por encima o por debajo de las praderas de *Posidonia,* y su composición faunística varía ligeramente dependiendo de la profundidad, formando dos poblamientos diferentes.

En las praderas de *Cymodocea* más superficiales, los animales que dominan las hojas son los gasterópodos *Jujubinus striatus, Gibbula ardens* y *Bittium scabrum*, y los decápodos *Hippolyte inermis, H. leptocerus, Thoralus cranchii, Athanas nitescens* y *Philocheras monacanthus,* entre otros. En el sedimento se entierran el bivalvo *Loripes*

[6] *TEMPLADO, J.; BALLESTEROS, E., GALPASORO, I.; BORJA, A.; SERRANO, A.; MARTÍN, L.; BRITO, A. (2012). Inventario de Hábitats y Especies Marino. Guían interpretativa: Inventario español de hábitats marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 231pp.*

lacteus y los opistobranquios *Bulla striata* y *Haminoea hydatis,* y sobre el sedimento es común el gasterópodo *Nassarius cuvierii* y el pez *Clinitrachus argentatus.* Se encuentran juveniles de numerosas especies de peces, y adultos de los singnátidos *Nerophis ophidion, Hippocampus ramulosus* e *H. hippocampus*. En las praderas más profundas, situadas a partir de 8 ó 10 m de profundidad, son característicos sobre las hojas los gasterópodos *Gibbula leucophaea, Tricolia tenuis, Smaragdia viridis* y *Rissoa monodonta,* y *Nassarius reticulatus, N. pygmaeus* y *Hexaplex trunculus* sobre el sedimento. También es frecuente el equinodermo *Holothuria tubulosa* y, en algunas zonas, aparece la anémona *Condylactis aurantiaca.* Entre los animales que viven enterrados en el sedimento, se encuentran los gasterópodos *Tectonatica filosa, Bela laevigata* y *Ringicula auriculata,* los bivalvos *Spisula subtruncata* y *Chamelea gallina,* el erizo irregular *Echinocardium cordatum* y el decápodo *Portunus hastatus.* Sobre el fondo destacan los antozoos como *Cerianthus membranaceus* y *Alicia mirabilis,* diversos poliquetos sedentarios, como *Sabella spallanzanii,* bivalvos como *Pinna nobilis,* y equinodermos como *Astropecten bispinosus, Holothuria polii* y *H. tubulosa.*

A partir de los datos recabados con el muestreo efectuado se han obtenido una estimación de la cobertura de la pradera de *Cymodocea nodosa* (porcentaje de pradera que ocupa el sustrato). De estas observaciones se extrae la conclusión de que no se muestran diferencias significativas en cuanto a los valores de porcentaje de cobertura dentro de la zona explorada.

Pradera de Cymodocea nodosa en la zona de estudio

Por su parte, los valores de densidad estimados a partir del análisis de las imágenes muestra que estos han sido muy bajos para toda la zona de estudio.

A partir de los datos de densidad (que es la variable más importante) se ha tratado de establecer una clasificación, a partir de la cual se puede determinar a grosso modo cuál es el tipo de pradera de cada estación. Esta clasificación vendría a ser equivalente a la creada por *Giraud (1977)*[7] para determinar el estado de la pradera de *Posidonia oceanica.*

De esta forma, se puede estimar que las praderas de *Cymodocea nodosa* presentes en la zona de estudio quedarían clasificadas como *Haces aislados*.

Detalle de los haces de Cymodocea nodosa en la zona de estudio

En definitiva, se puede concluir que el recubrimiento de *Cymodocea nodosa* dentro de la zona de estudio se extiende de forma continua entre a partir de la batimétrica de 8m y hasta el límite profundo de la zona de estudio (-10m), lo que coincide con la distribución de la misma señalada en el *Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón,* realizado en 2009 por el entonces Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente[8].

Por su parte, el análisis de los datos obtenidos de la exploración de los fondos realizada permite concluir que esta pradera de *Cyomodocea nodosa* estaría conformada principalmente como una pradera muy clareadas o semi-praderas donde la densidad es muy baja (haces aislados).

[7] GIRAUD, G. (1977). *Essai de classement des herbiers de Posidonia oceanica (Linne) Delile*. Botanica Marina 20 (8): 487-491.

[8] Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón. (2010). https://www.miteco.gob.es

3.5. PRADERA DE *Caulerpa prolifera*.

Praderas de *Caulerpa prolifera* (0305130201) [9]. *Caulerpa prolifera*[10] es un alga verde autóctona pero no exclusiva, en el Mediterráneo, y sus frondes pueden llegar a medir entre 15 y 25 centímetros. *Caulerpa prolifera* puede reproducirse tanto sexual como asexualmente, incluso su proliferación puede darse por fragmentación, siempre y cuando contenga parte del talo o el rizoma.

Suele darse sobre fondos de sedimentos finos, incluyendo fangos y arenas, pudiendo alcanzar una densidad de más de 350 gramos de peso seco por metro cuadrado. A pesar de su preferencia por zonas someras, la intensidad de la luz puede afectar a *C. prolifera* y se ha comprobado que crece con mayor rapidez y con mayor densidad cuando se encuentra a la sombra de otras algas y fanerógamas marinas.

Es frecuente que *Caulerpa prolifera* crezca dentro o en los alrededores de praderas de fanerógamas marinas. Los principales predadores de *C. prolifera* son algunas especies de opistobranquios, por ejemplo, *Oxinoe olivacea, Ascobulla fragilis* o *Lobiger serradifalci.*

Caulerpa prolifera recubriendo un bioconcrecionamiento

En el golfo de Valencia se ha observado que esta especie aprovecha y coloniza los estratos de rizoma muerto derivados de la importante regresión experimentada por la pradera de *Posidonia oceanica* en esta zona del Mediterráneo.

Dentro de la extensión de fondo ocupada por este tipo de recubrimiento algal, la exploración realizada ha permitido identificar la presencia de frondes dispersos del

---

[9] TEMPLADO, J.; BALLESTEROS, E., GALPASORO, I.; BORJA, A.; SERRANO, A.; MARTÍN, L.; BRITO, A. (2012). Inventario de Hábitats y Especies Marino. Guían interpretativa: Inventario español de hábitats marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 231pp.
[10] Aguilar, R.; Pastor, X.; De Pablo, M.J. (2006). Hábitats en peligro. Propuesta de protección de Oceana. Oceana Ed. 81pp

congenere *Caulerpa racemosa (=cylindracea)*, especie que, como se ha señalado anteriormente, está considerada como especie exótica invasora.

Como se ha descrito anteriormente, las zonas con recubrimiento de *Caulerpa prolifera* dentro de la zona de estudio se han localizado entre las cotas batimétricas de 4m y 8m, coincidiendo con los descrito en *Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón (op.cit.).* Como se ha señalado para *Cymodocea nodosa*, la exploración realizada permite observa ciertas diferencias respecto de los límites concretos de estos recubrimientos marcados en la cartografía de referencia, si bien estas diferencias no se han considerado significativas dada la fuerte inestabilidad que se deriva de la escasa batimetría y el efecto sobre ella del hidrodinamismo, que en determinadas circunstancias (fuerte oleaje, temporales, etc.) puede dar lugar a fenómenos de descalzamiento del recubrimiento vegetal. De hecho, son normales las diferencias interanuales en la conformación concreta de este tipo de praderas tan superficiales.

4. CONCLUSIONES.

Atendiendo a los objetivos del presente estudio, a continuación, se exponen las conclusiones relevantes del mismo.

La distribución de las comunidades bentónicas dentro de la zona de estudio presenta una primera zona litoral muy antropizada lo que da lugar a una escasa estructuración de las comunidades de substratos blandos del supra-, meso- e infralitoral superior. En esta misma zona y sobre los substratos duros artificiales (espigones) se diferencia los poblamientos típicos de este tipo de enclaves, conformados por recubrimientos de escasa relevancia ecológica e indicadores de una calidad ambiental deficiente.

Por lo que respecta al resto de la zona de estudio, el entorno marino se caracteriza por un fondo netamente sedimentario en el que la biocenosis marina presente es la típica para este tipo de enclaves en el Mediterránero, es decir, la comunidad de las Arenas finas bien calibradas.

Sobre este fondo sedimentario se localizan dos tipos de recubrimiento vegetal:

- Praderas de *Caulerpa prolifera*, que se localizan en varias áreas entre las batimétricas de -4m y -7m.
- Pradera de la fanerógama marina *Cymodocea nodosa* la cual se extiende desde profundidades en torno a -8m, hasta el límite de la zona de estudio situado a -10m. Si bien su presencia es continúa dentro de esa zona, no conforma un pradera densa, sino que está estructurada como pradera muy clareada o semi-pradera.

Las zonas obtenidas a partir de la exploración realizada y, en particular, aquellas con recubrimiento de fanerógamas marinas son coincidentes con las representadas en la cartografía de referencia, es decir, en el Estudio Ecocatográfico de la provincia de Castellón realizado en 2010. Sigue presentado una similar extensión sin que de los trabajos realizados se haya podido obtener alteraciones significativas del cartografiado de las mismas.

En este caso, la única fanerógama marina identificada dentro de la zona de estudio ha sido *Cymodocea nodosa*, no habiéndose detectado la presencia de *Posidonia oceanica*, la cual conforme a la bibliografía consultada se localizaría a profundidades mayores de las cubiertas en el presente estudio.

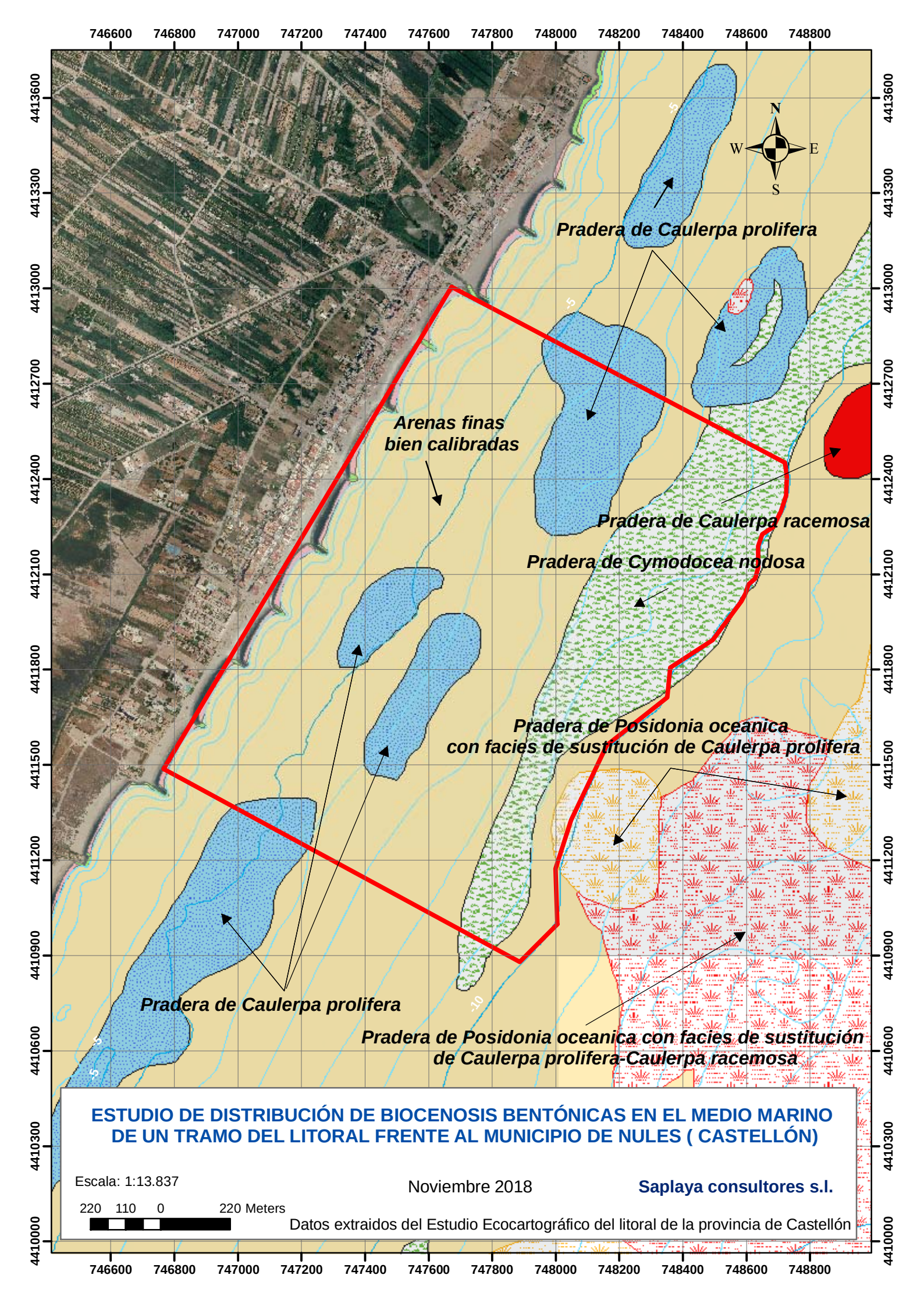
Este informe ha sido realizado por los servicios técnicos de Saplaya Consultores S.L., actuando como Coordinador del trabajo D. Ignacio Giner Ponce.

Lo que se firma a los efectos oportunos en Valencia a 8 de noviembre de 2018.

Fdo.: Ignacio Giner Ponce

ANEJO CARTOGRÁFICO.

Plano 1. Distribución de comunidades bentónicas



ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN DE BIOCENOSIS BENTÓNICAS EN EL MEDIO MARINO DE UN TRAMO DEL LITORAL FRENTE AL MUNICIPIO DE NULES (CASTELLÓN)

Escala: 1:13.837

220 110 0 220 Meters

Noviembre 2018

Saplaya consultores s.l.

Datos extraidos del Estudio Ecocartográfico del litoral de la provincia de Castellón

2.4.- Clima marítimo.

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se realiza el análisis de clima marítimo (oleaje, viento y nivel del mar) en profundidades indefinidas, siendo así posible determinar las principales direcciones de propagación del oleaje y los estados de mar más representativos en régimen medio y en régimen extremal.

2. FUENTES DE DATOS

2.1 DATOS DE VIENTO Y OLEAJE

Para la obtención de series históricas de datos de viento y oleaje se recurre al conjunto de datos SIMAR de Puertos del Estado. Este conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son, por tanto, datos sintéticos y no proceden de medidas directas de la naturaleza.

En concreto se toma el punto SIMAR 208117, cuya posición se indica en la tabla adjunta y gráficamente en la .Figura 1.

Punto SIMAR	
Nomenclatura	2084117
Situación	39º27’42’’ N 0º 19’33’’ W
Profundidad	Indefinidas

Tabla 1.- Características del punto SIMAR escogido.

Figura 1. Vista de la ubicación del punto SIMAR escogido.

Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos simulados de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR-44 (a partir de 1958) y WANA (a partir de 2006). El objetivo ha sido poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad (2018).

Los parámetros disponibles son los siguientes:

- Velocidad Media del Viento (Promedio horario a 10 m. de altura)

- Dirección Media de Procedencia del Viento (0º=N,90º=E)

- Altura Significante Espectral

- Periodo Medio Espectral (Momentos 02)

- Periodo de Pico

- Dirección Media de Procedencia de Oleaje (O=N,90= E)

- Altura Significante y Dirección Media de Mar de Viento

- Altura Significante, Periodo Medio y Dirección Media de Mar de Fondo

2.2 DATOS DE NIVEL DEL MAR

Para obtener los valores representativos de los regímenes de marea en la zona de estudio se ha utilizado la herramienta *ATLAS* (Atlas de Inundación en el Litoral Peninsular Español) del Sistema de Modelado Costero. En esta herramienta se recogen, para las distintas fachadas de la España peninsular, los regímenes medio y extremal del nivel de marea (SNM = marea meteorológica + marea astronómica).

3. CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL DEL MAR.

La franja costera que nos ocupa de la playa de Les Marines se ubica dentro del Área VII, Subzona A del ATLAS, como se aprecia en la figura siguiente extraída de dicha aplicación.

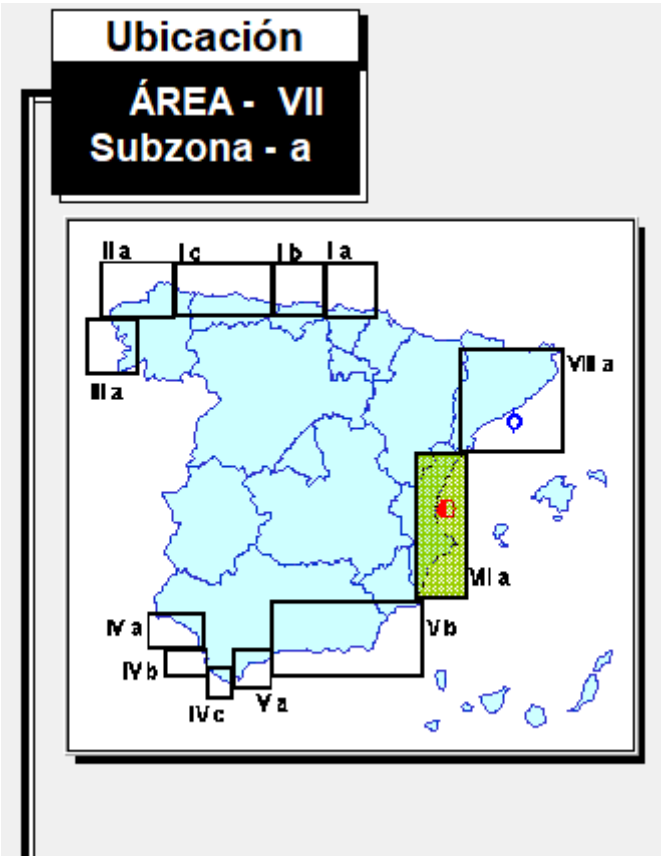


Figura 2. Vista de la zona VII-a de la herramienta ATLAS para el estudio del régimen de nivel del mar.

La metodología utilizada se basa en una simulación temporal consistente en la suma de las variables aleatorias marea astronómica, marea meteorológica, altura significante y periodo de pico, que afectan a la inundación. La función de distribución de las variables se obtiene con base en los

registros instrumentales disponibles, teniendo en cuenta para las simulaciones realizadas la dependencia entre las variables aleatorias.

La información utilizada en la determinación de los regímenes de nivel de mar procede del mareógrafo Valencia perteneciente a la red REDMAR, cuyas características fundamentales se indican a continuación.

Marea Astronómica	
Mareógrafo	Valencia
Situación	39º27'42'' N 0º 19'33'' W
Período medida	1995/1996
Marea Meteorológica	
Residuo del nivel del mar del mareógrafo de Valencia	

Tabla 2.- Características del mareógrafo de Valencia.

En régimen medio, en la zona correspondiente al área VII-a, el nivel de pleamar (PMVE) se encuentra a la cota +0.25 m y el de bajamar (BMVE) a la -0.25 m respecto el NMM, siendo por tanto, la carrera de marea de 0.5 m, tal y como muestra la Figura 3.

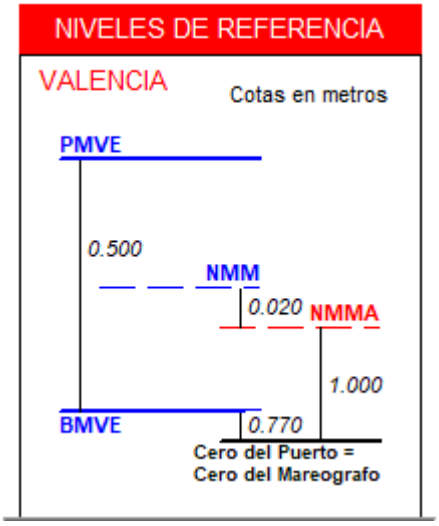


Figura 3. Niveles de referencia para la zona VII-a, proporcionado por la herramienta ATLAS.

En régimen de oleaje extremal, la elevación del nivel del mar, Snm (nivel de marea meteorológica + nivel de marea astronómica) asociada a un periodo de retorno de 50 años es de 0.70 m respecto del NMMA con un rango de marea de 0.93 m.

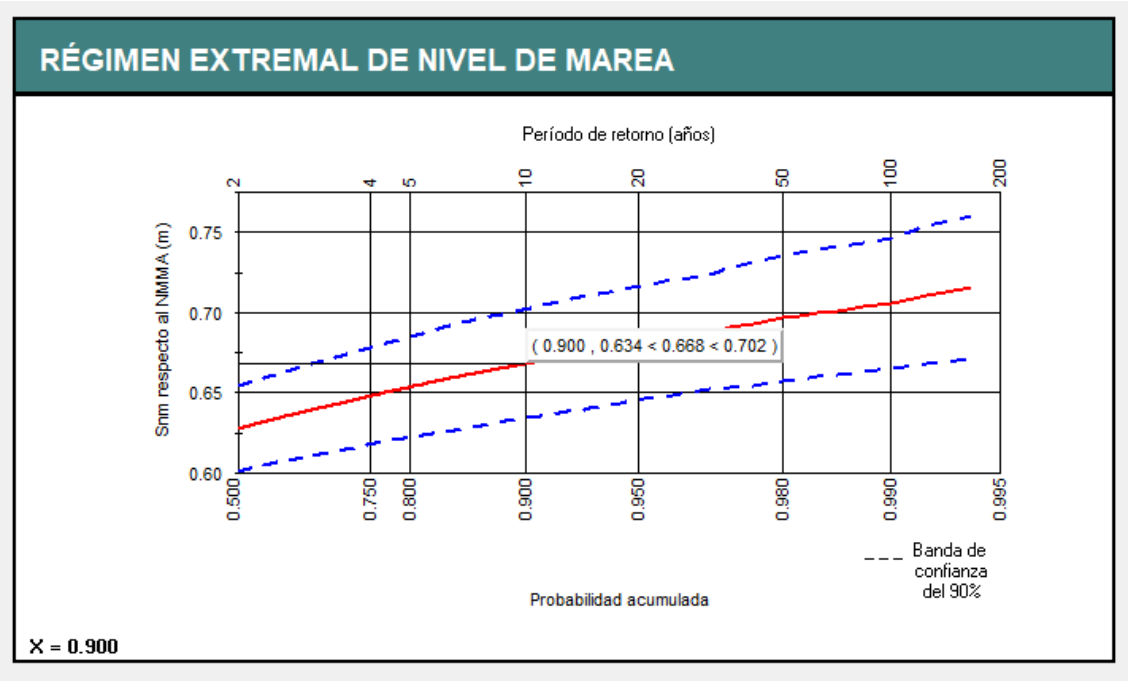


Figura 4. Régimen extremal de marea, zona VII-a, proporcionado por la herramienta ATLAS. Ejemplo de obtención de nivel para Tr=10 años (probabilidad acumulada=0.90).

A partir del ajuste realizado por la aplicación, se pueden extraer los valores asociados para otros periodos de retorno, datos que se han recogido en la Tabla 3 y cuyo ejemplo se muestra en la Figura 4.

Periodo de retorno (Tr)	Prob. acumulada	Snm respecto NMM [m] (90 % i.c.)	Valor central Snm [m]
5 años	0.80	$0.622 < 0.653 < 0.685$	0.65
10 años	0.90	$0.634 < 0.668 < 0.702$	0.67
25 años	0.96	$0.648 < 0.684 < 0.720$	0.68
50 años	0.98	$0.657 < 0.696 < 0.736$	0.70

Tabla 3.- Valores de Snm en régimen extremal, obtenido a partir de la herramienta ATLAS.

4. CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE.

4.1 METODOLOGÍA

4.1.1 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL RÉGIMEN MEDIO

El análisis en régimen medio se realiza tomando toda la muestra de datos, obteniéndose las rosas de oleaje, las probabilidades de ocurrencia de cada dirección de propagación de oleaje y los diagramas de barras para los estadísticos representativos de los estados de mar: altura de ola significante (Hs) y periodo de pico (Tp).

4.1.2 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL RÉGIMEN EXTREMAL

Para describir el régimen extremal de la acción del oleaje se realiza un análisis de temporales, obteniendo previamente, de toda la serie de datos, una muestra que comprenda todos los temporales que cumplan los criterios por los cuales se define un temporal tipo.

Para el análisis de temporales se emplea el método de picos sobre umbral, Peak Over Threshold (POT), obteniéndose las alturas de ola máximas para cada uno de los temporales. Los temporales se definen como la sucesión de estados de mar que cumplan simultáneamente los siguientes criterios:

- Las alturas de ola significante exceden un valor umbral considerado $(Hs \geq Hsu)$. Como valor umbral Hs,u se toma el percentil 98.
- La tormenta tiene una duración mínima $Dmin$.
- Las tormentas son independientes, es decir, existe un tiempo $Dmin2$ entre ellas.

En estos trabajos se ha tomado el siguiente criterio: duración mínima de la tormenta $Dmin = 6\ h$, y duración mínima entre tormentas $Dmin2 = 48h$.

Este método permite también obtener un número medio de temporales por año.

Una vez localizados los temporales y sus valores máximos, se realiza un ajuste de datos para definir de forma óptima la cola superior de la variable de interés (altura de ola significante en nuestro caso). Para encontrar el mejor ajuste se recurre a la Función Generalizada de Distribución de

Valores Extremos (GEV), puesto que es la más completa ya que combina las familias Gumbel, Weibull y Frechet. La función de distribución GEV viene dada por la siguiente expresión:

$$F(x;k,\sigma,\mu) = exp\left\{-\left[1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/k}\right\}$$

Donde x es la variable aleatoria, *k* es el parámetro de forma, σ sigma es el parámetro de escala y μ es el parámetro de localización.

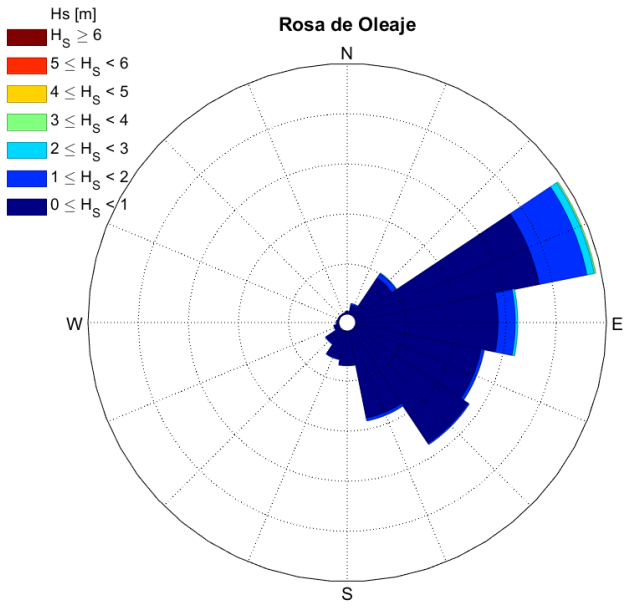
Esta función nos permitirá estimar el valor de Hs para cada periodo de retorno de interés.

Se realiza además un ajuste para obtener la relación entre Hs y Tp. De esta forma, una vez obtenidas las alturas de ola Hs para cada periodo de retorno, podremos obtener el valor de periodo de pico esperado, a través de dicha relación.

4.2 RÉGIMEN MEDIO DEL OLEAJE.

4.2.1 ROSA DE OLEAJE

Se puede apreciar visualmente que la dirección de procedencia del oleaje predominante es la correspondiente al este (E) y, en concreto, mayoritariamente en los sectores ENE y E.



SECTOR	MARCA (º)	PROBABILIDAD
N	0	0.004
NNE	22.5	0.012
NE	45	0.055
ENE	67.5	0.264
E	90	0.175
ESE	112.5	0.141
SE	135	0.149
SSE	157.5	0.099
S	180	0.037
SSW	202.5	0.032
SW	225	0.019
WSW	247.5	0.006
W	270	0.003
WNW	292.5	0.002
NW	315	0.002
NNW	337.5	0.002

Figura 5. Rosa de oleaje y probabilidad de presentación de direcciones de oleaje. Régimen medio.

Las probabilidades de ocurrencia de las determinadas direcciones de propagación del oleaje se recogen en la tabla de la Figura 5. Como puede observarse, la mayor parte de los datos se concentra entre las direcciones NE y SSE, concretamente los sectores de mayor probabilidad de ocurrencia son el ENE y el E.

4.2.2 TABLA DE PROBABILIDAD CONJUNTA HS-TP OMNIDIRECCIONAL

La tabla adjunta muestra la probabilidad conjunta Hs-Tp. Se representa, además de numéricamente, con un código de escala de colores (a mayor probabilidad, mayor intensidad de color).

	Tp [s]	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,7)	[7,8)	[8,9)	[9,10)	[10,11)	[11,12)	[12,13)	[13,14)
Hs [m]	Marca	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
[0,0.5)	0.25	0.003	0.072	0.126	0.127	0.116	0.062	0.031	0.016	0.005	0.001	0.000	0.000	0
[0,1)	0.75	0.000	0.004	0.045	0.070	0.076	0.073	0.039	0.020	0.008	0.002	0.000	0.000	0.000
[1,1.5)	1.25	0	0.000	0.000	0.006	0.013	0.017	0.014	0.011	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000
[1.5,2)	1.75	0	0	0.000	0.000	0.002	0.005	0.005	0.005	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000
[2,2.5)	2.25	0	0	0	0.000	0.000	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
[2.5,3)	2.75	0	0	0	0	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
[3,3.5)	3.25	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0	0
[3.5,4)	3.75	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0
[4,4.5)	4.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0
[4.5,5)	4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0
[5,5.5)	5.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0
[5.5,6)	5.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.- Probabilidad Hs-Tp en régimen medio. Análisis omnidireccional.

4.2.3 DIAGRAMAS DE BARRAS EN ANÁLISIS OMNIDIRECCIONAL

A continuación se muestran los diagramas de barras correspondientes a Hs y Tp.

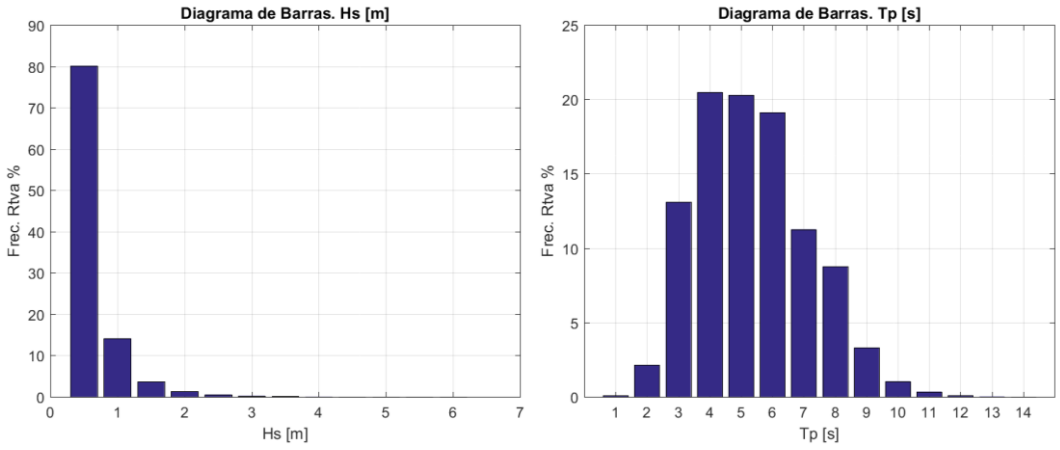


Figura 6. Diagrama de barras para las variables altura de ola y periodo. Régimen medio.

4.2.4 TABLAS DE PROBABILIDAD CONJUNTA HS-TP DIRECCIONALES

Se ha obtenido la probabilidad conjunta para los dos sectores más probables de procedencia de oleaje en régimen medio: el sector ENE y el sector E. De nuevo se representan, además de los valores numéricos, un código de color que indica mayor probabilidad cuanto más intenso es el color.

	Tp [s]	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,7)	[7,8)	[8,9)	[9,10)	[10,11)	[11,12)	[12,13)	[13,14)
Hs [m]	Marca	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
[0,0.5)	0.25	0.000	0.015	0.060	0.078	0.087	0.063	0.037	0.014	0.003	0.001	0	0.000	0
[0,1)	0.75	0	0.001	0.021	0.065	0.098	0.094	0.071	0.041	0.013	0.003	0.000	0.000	0
[1,1.5)	1.25	0	0.000	0.000	0.004	0.024	0.035	0.034	0.030	0.013	0.004	0.000	0.000	0
[1.5,2)	1.75	0	0	0	0.000	0.003	0.013	0.013	0.013	0.009	0.003	0.001	0.000	0.000
[2,2.5)	2.25	0	0	0	0	0.000	0.003	0.006	0.005	0.005	0.002	0.001	0.000	0.000
[2.5,3)	2.75	0	0	0	0	0	0.000	0.003	0.004	0.002	0.001	0.000	0	0.000
[3,3.5)	3.25	0	0	0	0	0	0	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0	0
[3.5,4)	3.75	0	0	0	0	0	0	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0	0
[4,4.5)	4.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0
[4.5,5)	4.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0
[5,5.5)	5.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0	0
[5.5,6)	5.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

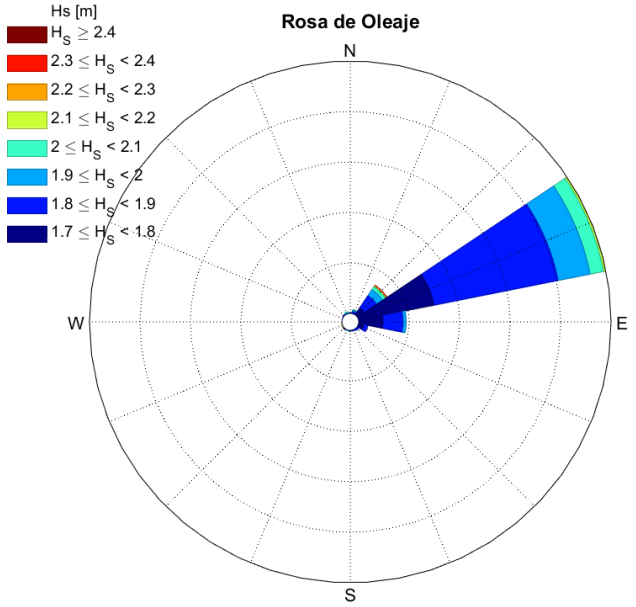
Tabla 5.- Probabilidad Hs-Tp en régimen medio. Análisis direccional (ENE).

	Tp [s]	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,7)	[7,8)	[8,9)	[9,10)	[10,11)	[11,12)	[12,13)	[13,14)
Hs [m]	Marca	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
[0,0.5)	0.25	0.001	0.028	0.088	0.143	0.139	0.063	0.024	0.010	0.003	0.001	0.000	0	
[0,1)	0.75	0.000	0.002	0.016	0.064	0.124	0.112	0.042	0.013	0.004	0.001	0.000	0.000	
[1,1.5)	1.25	0	0	0.000	0.002	0.017	0.030	0.020	0.009	0.002	0.000	0.000	0	
[1.5,2)	1.75	0	0	0.000	0.000	0.002	0.007	0.007	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	
[2,2.5)	2.25	0	0	0	0	0.000	0.002	0.005	0.003	0.001	0.000	0	0	
[2.5,3)	2.75	0	0	0	0	0	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0	0	
[3,3.5)	3.25	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0	0	
[3.5,4)	3.75	0	0	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0	0	0	
[4,4.5)	4.25													
[4.5,5)	4.75													
[5,5.5)	5.25													
[5.5,6)	5.75													

Tabla 6.- Probabilidad Hs-Tp en régimen medio. Análisis direccional (sector E).

4.3 RÉGIMEN EXTREMAL DEL OLEAJE.

4.3.1 ROSA DE OLEAJE



SECTOR	MARCA (º)	PROBABILIDAD
N	0	0.009
NNE	22.5	0.015
NE	45	0.047
ENE	67.5	0.705
E	90	0.173
ESE	112.5	0.023
SE	135	0.009
SSE	157.5	0.009
S	180	0.003
SSW	202.5	0
SW	225	0.003
WSW	247.5	0.006
W	270	0
WNW	292.5	0
NW	315	0
NNW	337.5	0

Figura 7. Rosa de oleaje y probabilidad de presentación de direcciones de oleaje. Régimen extremal.

Como puede observarse a partir de la rosa de oleaje y de la tabla de probabilidades, más del 70% de los datos de temporal se concentran en el sector ENE, por lo que será el sector a analizar de forma más exhaustiva.

4.3.2 TABLA DE PROBABILIDAD CONJUNTA HS-TP OMNIDIRECCIONAL

En el análisis omnidireccional se puede apreciar que los estados de mar más probables vienen caracterizados por alturas de ola significantes entre 2 y 3.5 m con periodos de pico entre 7 y 10 s.

	Tp [s]	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,7)	[7,8)	[8,9)	[9,10)	[10,11)	[11,12)	[12,13)	[13,14)
Hs [m]	Marca	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
[0,0.5)	0.25													
[0,1)	0.75													
[1,1.5)	1.25													
[1.5,2)	1.75						0	0.050	0.035	0.029	0.012	0.003	0.003	0
[2,2.5)	2.25						0.012	0.082	0.129	0.079	0.061	0.023	0.020	0.018
[2.5,3)	2.75						0.003	0.012	0.076	0.076	0.029	0.009	0	0
[3,3.5)	3.25						0	0	0.018	0.067	0.026	0.023	0	0
[3.5,4)	3.75						0	0	0	0.047	0.018	0.012	0	0
[4,4.5)	4.25						0	0	0	0	0.006	0.003	0	0
[4.5,5)	4.75						0	0	0	0	0.006	0	0.003	0
[5,5.5)	5.25						0	0	0	0	0	0	0.003	0
[5.5,6)	5.75						0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7.- Probabilidad Hs-Tp en régimen extremal. Análisis omnidireccional.

4.3.3 TABLA DE PROBABILIDAD CONJUNTA HS-TP DIRECCIONAL

Se ha obtenido la probabilidad conjunta para el sector más probable de procedencia de oleaje en régimen extremal: el sector ENE. En el sector de procedencia del oleaje ENE, los estados de mar más probables vienen caracterizados por alturas de ola comprendidas entre 2 y 3.5 m y con periodos de pico entre 6 y 9 s.

	Tp [s]	[1,2)	[2,3)	[3,4)	[4,5)	[5,6)	[6,7)	[7,8)	[8,9)	[9,10)	[10,11)	[11,12)	[12,13)	[13,14)
Hs [m]	Marca	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
[0,0.5)	0.25													
[0,1)	0.75													
[1,1.5)	1.25													
[1.5,2)	1.75						0.036	0.04	0.024	0.016	0	0	0	0
[2,2.5)	2.25						0.096	0.124	0.088	0.06	0.028	0.012	0.004	0.004
[2.5,3)	2.75						0.008	0.052	0.084	0.044	0.012	0	0	0.004
[3,3.5)	3.25						0	0.012	0.08	0.028	0.032	0.004	0	0
[3.5,4)	3.75						0	0	0.056	0.02	0.016	0	0	0
[4,4.5)	4.25						0	0	0	0.004	0	0	0	0
[4.5,5)	4.75						0	0	0	0.004	0	0.004	0	0
[5,5.5)	5.25						0	0	0	0	0	0.004	0	0
[5.5,6)	5.75						0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 8.- Probabilidad Hs-Tp en régimen extremal. Análisis direccional (ENE).

4.3.4 FUNCIÓN GENERALIZADA DE EXTREMOS. HS.

Las figuras adjuntas muestran el mejor ajuste obtenido y sus parámetros. Se ha realizado el ajuste para toda la serie de datos de temporal y por otro lado, para el sector ENE que es el sector en el que se concentran la mayor parte de los temporales.

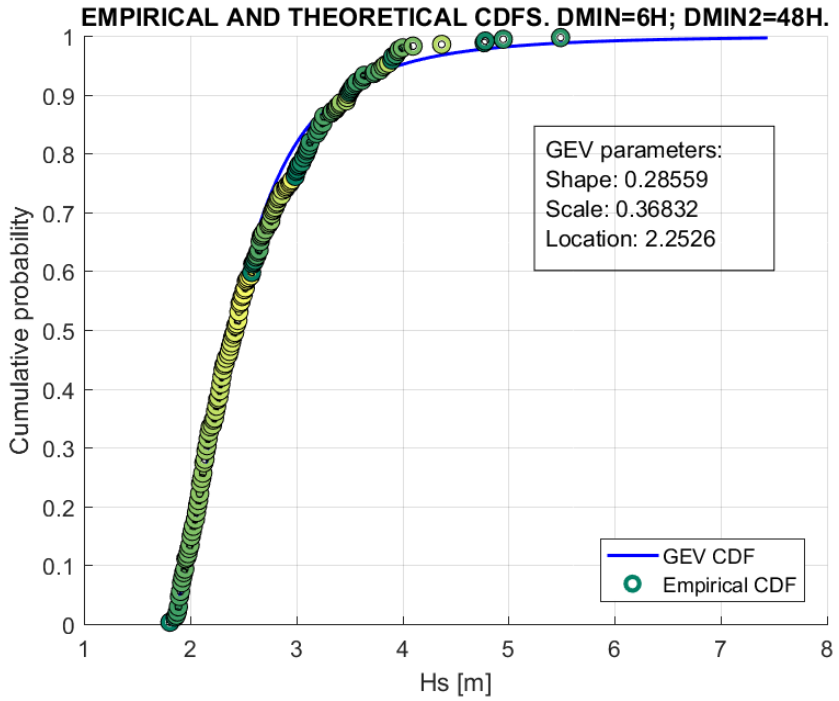


Figura 8. Función generalizada de extremos. Análisis omnidireccional.

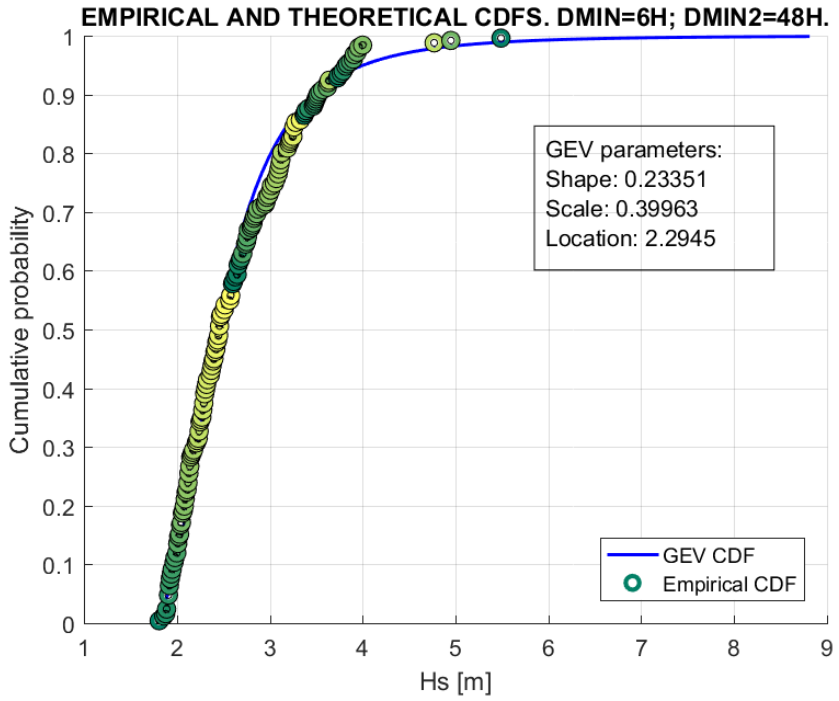


Figura 9. Función generalizada de extremos. Análisis direccional (ENE).

4.3.5 OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE ALTURA DE OLA Y PERIODO DE PICO

Para la obtención de la relación Hs-Tp se siguen las directrices de la ROM 0.3-91, que recomienda en primer lugar obtener la relación Hs-Tz (donde Tz es el periodo medio) a partir de los intervalos límites de peralte (S). En aguas profundas la relación que liga el peralte (S), el periodo (T) y la altura de ola (H) en teoría lineal de ondas es:

$$S = \frac{H_s}{L_T} = \frac{2\pi H_s}{gT^2}$$

Una vez obtenido este ajuste de los datos con la expresión anterior se puede hallar Tz y, asumiendo una relación lineal para Tp-Tz, estimar los valores de Tp asociados.

Como puede observarse en las figuras, el límite de peralte que mejor se ajusta para la relación Hs-Tz es $S \cong 0.05$, tanto en el análisis omnidireccional como en el que realizado para la dirección predominante (sector ENE), por lo que será ese el valor que tomaremos para la obtención de Tz a partir de Hs. Asi, de este modo, es posible estimar el valor del periodo medio a partir de la siguiente expresión:

$$S = \frac{2\pi H_s}{gT_z^2}$$

La obtención de Tp una vez conocido el periodo medio se obtiene por ajuste lineal de la serie de datos correspondiente, tal y como indica la ROM 0.3-91 que se puede aproximar.

$$T_p = aT_z + b$$

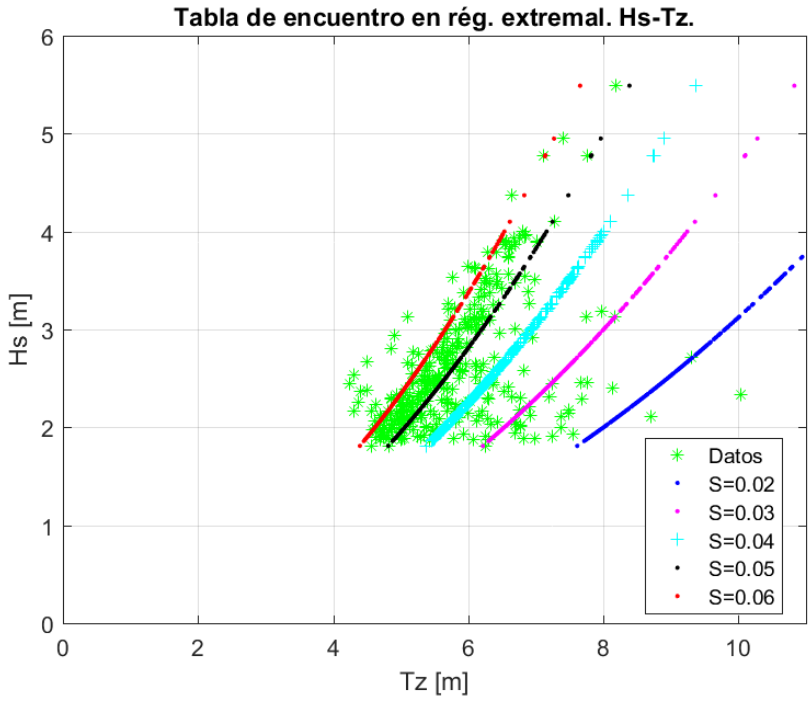


Figura 10. Tabla de encuentro H-T basada en los límites de peralte. Análisis extremal, omnidireccional.

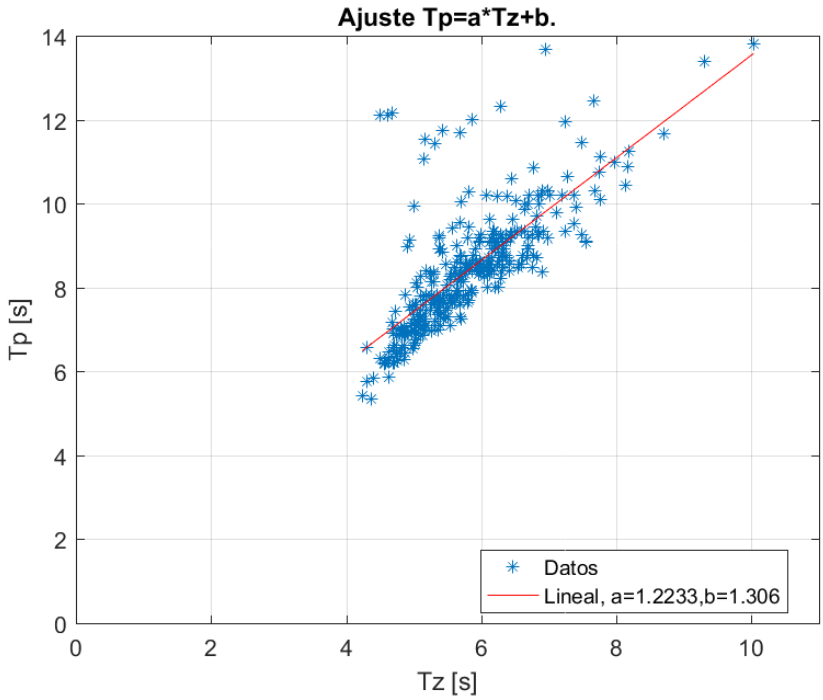


Figura 11. Ajuste lineal de la relación Tz-Tp. Análisis extremal, omnidireccional.

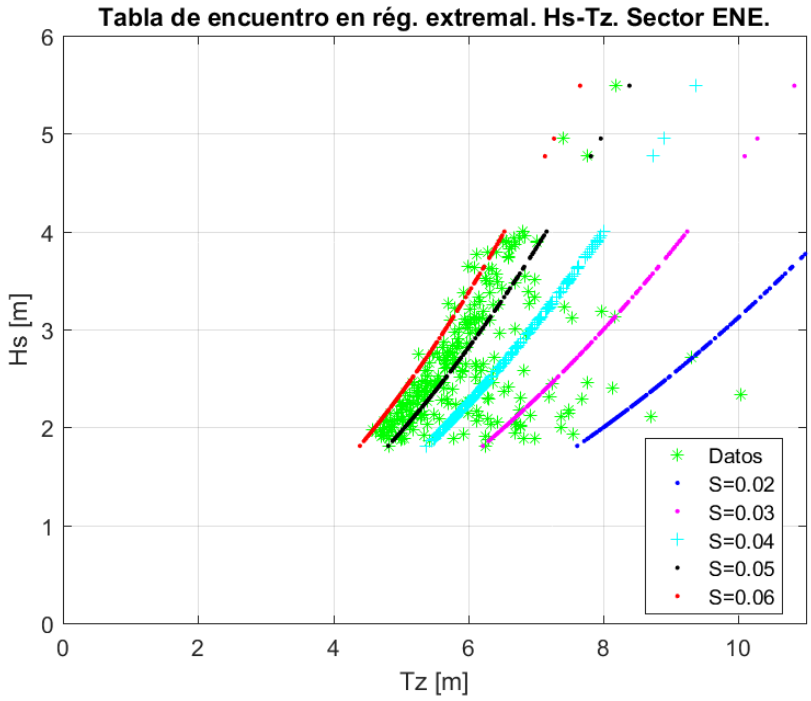


Figura 12. Tabla de encuentro H-T basada en los límites de peralte. Análisis extremal, direccional (ENE).

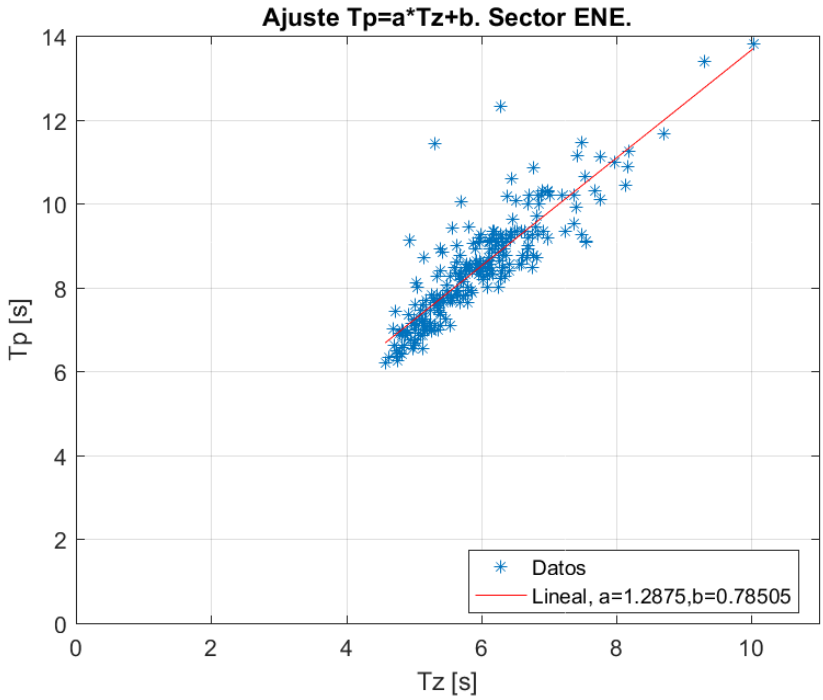


Figura 13. Ajuste lineal de la relación Tz-Tp. Análisis extremal, direccional (ENE).

4.3.6 PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO

El periodo de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas, se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-Pf)^{Vm^{-1}}}$$

Donde Tr es el periodo de retorno en años, Vm es la vida útil en años y Pf es la probabilidad de fallo frente a los diferentes modos de fallo asociados a la obra u actuación.

En el apartado 2.8 de la ROM 1.0 Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo [2] se recomiendan los valores de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) para los tipos de actuación posibles en áreas litorales.

Figura 2.2.33. ***IRE, ISA y vida útil mínima en función del tipo de área abrigada***

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE IRE [7]		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V_m) [7] (años)
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r_3	Alto	50
		Puertos para tráficos especializados	$r_2(r_3)$ [1]	Medio (alto) [1]	25 (50) [1]
	PUERTO PESQUERO		r_2	Medio	25
	PUERTO NÁUTICO-DEPORTIVO		r_2	Medio	25
	INDUSTRIAL		$r_2(r_3)$ [1]	Medio (alto) [1]	25 (50) [1]
	MILITAR		$r_2(r_3)$ [2]	Medio (alto) [2]	25 (50) [2]
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r_2 (r_3) [3]	Medio (alto) [3]	25 (50) [3]
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES [4]		r_3	Alto	50
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		$r_2(r_3)$ [5]	Medio (alto) [5]	25 (50) [5]
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		$r_1(r_3)$ [6]	Bajo (alto) [5]	15 (50) [7]
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r_1	Bajo	15

Figura 14. IRE, ISA y vida útil mínima según el tipo de obra. Fuente: ROM 1.0-09.

Figura 2.2.34. ***ISA y probabilidad conjunta de fallo para ELU y $p_{f_{ELS}}$***

	TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		$P_{f_{ELU}}$	$P_{f_{ELS}}$
ÁREAS PORTUARIAS	COMER-CIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas[1]	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	NÁUTICO-DEPORT.	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	INDUS-TRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique[1]		s_3	Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	PROTEC-CIÓN *	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES[3]			s_4	Muy alto	0.0001	0.07
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			s_2 (s_3)[4]	Bajo (alto)[4]	0.10 0.0001	0.10 0.07
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			s_2 (s_4)[5]	Bajo (muy alto)[5]	0.10 0.0001	0.10 0.07
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			s_1	No signif.	0.20	0.20

Figura 15. ISA y probabilidad de fallo según el tipo de obra. Fuente: ROM 1.0-09.

Para regeneración y defensa de playas se tiene, a partir de las tablas anteriores, un valor de vida útil mínima de 15 años ($Vu = 15$)y un valor de probabilidad de fallo en estado límite último y de servicio de 0.20 ($Pf = 0.20$). Por tanto:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-Pf)^{Vm^{-1}}} \sim 68\ años$$

4.3.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTADOS DE MAR DE DISEÑO EXTREMALES.

A partir del ajuste realizado con la GEV se realiza la extrapolación y se obtienen los valores representativos para diferentes periodos de retorno (Tr), teniendo en cuenta el número de temporales por año (nt) y la función inversa

$$H_{s,Tr} = CdF^{-1}\left(1 - \frac{1}{nt \cdot Tr}\right)$$

Una vez conocidas las alturas de ola Hs, se obtienen los periodos medios Tz a partir del ajuste por límites de peralte y los periodos de pico por el ajuste lineal realizados en el apartado anterior.

Análisis omnidireccional. (nt=5.7)			
Período de retorno Tr	**Hs [m]**	**Tz [s]**	**Tp [s]**
1 año	3.03	6.23	8.92
5 *años*	4.30	7.42	10.39
10 años	5.04	8.04	11.14
25 años	6.27	8.96	12.27
50 años	7.44	9.76	13.25
68 *años*	8.03	10.15	13.72

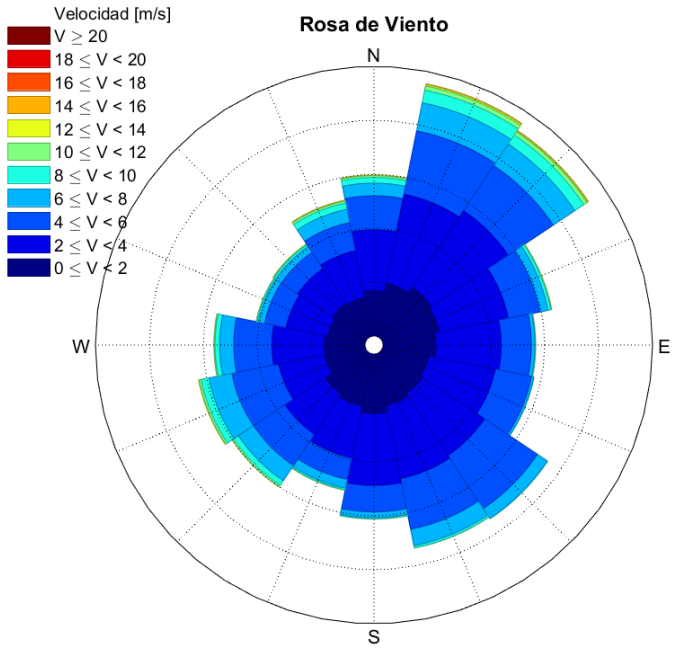
Tabla 9.-Caracterización de oleaje extremo para distintos periodos de retorno (omnidireccional).

Análisis direccional. Sector ENE. (nt=4.2)			
Período de retorno Tr	**Hs [m]**	**Tz [s]**	**Tp [s]**
1 año	2.90	6.09	8.63
5 *años*	4.04	7.19	10.05
10 años	4.66	7.73	10.73
25 años	5.64	8.50	11.73
50 años	6.53	9.15	12.56
68 años	6.98	9.45	12.96

Tabla 10.-Caracterización de oleaje extremo para distintos periodos de retorno (direccional, sector ENE).

5. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO

En este apartado se realiza una somera caracterización del viento reinante en la zona de actuación. En concreto se analiza el régimen medio mediante la obtención de la rosa de los vientos, las probabilidades de cada dirección y el diagrama de barras de las velocidades de viento.



SECTOR	MARCA (º)	PROBABILIDAD
N	0	0.085
NNE	22.5	0.093
NE	45	0.090
ENE	67.5	0.062
E	90	0.055
ESE	112.5	0.056
SE	135	0.072
SSE	157.5	0.071
S	180	0.060
SSW	202.5	0.050
SW	225	0.058
WSW	247.5	0.061
W	270	0.05
WNW	292.5	0.04
NW	315	0.04
NNW	337.5	0.05

Figura 16. Rosa de viento y probabilidad de presentación de direcciones de oleaje. Régimen medio.

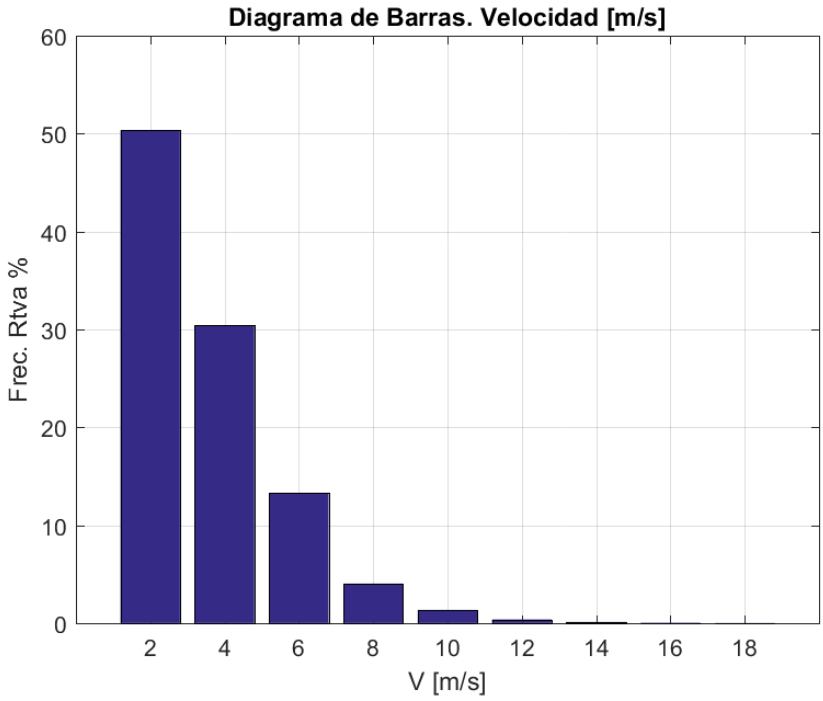


Figura 17. Diagrama de barras para velocidad de viento. Régimen medio.

2.5.- Propagación de oleaje.

1. NTRODUCCIÓN

En este anejo se describe el proceso efectuado para la reconstrucción del clima marítimo a pie de playa y la obtención de los principales parámetros de diseño.

En primer lugar se realiza una selección de estados de mar mediante la técnica del hipercubo con máxima disimilitud que permite extraer el subconjunto de estados de mar más representativos en aguas profundas. Este subconjunto de estados de mar es propagado hasta una profundidad intermedia mediante el modelo numérico SWAN y posteriormente, desde ese punto, se realiza una segunda propagación del oleaje mediante el modelo numérico OLUCA-SP que reproduce los fenómenos de difracción. Finalizada la propagación de los casos representativos hasta los puntos de control situados a pie de playa, se reconstruye la serie de oleaje mediante técnicas de interpolación y se analiza para obtener la caracterización del clima marítimo.

2. MODELOS EMPLEADOS EN LA PROPAGACIÓN

El oleaje, durante su propagación, puede sufrir las siguientes transformaciones:

- refracción: debido a la forma de la batimetría por la que se propaga, el oleaje sufre una variación de su dirección de propagación y de su altura de ola;
- asomeramiento: cuando el oleaje viaja hacia zonas de poca profundidad, disminuye su celeridad cambiando así su longitud de onda y su altura de ola;
- difracción: cuando, debido a la refracción o a la presencia de un obstáculo o estructura, existe un gradiente de altura de ola a lo largo de un frente y se produce una cesión de energía; y
- reflexión: cuando, debido a la presencia de un obstáculo o cambio brusco de profundidad, parte de la energía del oleaje es devuelta mar adentro.

Debido a la naturaleza de las distintas ecuaciones en las que se basan, cada uno de los modelos de propagación es capaz de reproducir adecuadamente sólo algunos de los fenómenos que experimenta el oleaje en su propagación desde aguas profundas hasta la costa.

Es por ello que en estos trabajos se realiza una propagación mixta del oleaje (de aguas profundas a aguas someras y de aguas someras hasta pie de playa), utilizando en cada una de ellas el modelo más adecuado a las transformaciones que sufre el oleaje. En la primera fase de la propagación se ha empleado el modelo SWAN a través del entorno GUIH-SWAN (desarrollado por el IH Cantabria), adecuado para zonas costeras amplias, mientras que en la segunda fase de la propagación, desde aguas someras hasta pie de playa, se ha empleado el modelo OLUCA-SP mediante el módulo

MOPLA del Sistema de Modelado Costero (desarrollado también por el IH Cantabria). Así, SWAN resuelve la refracción y el asomeramiento satisfactoriamente, además de ser altamente eficiente en extensos dominios, mientras que el modelo OLUCA es capaz de tratar y resolver adecuadamente la difracción en aguas más someras, donde es más relevante este fenómeno.

2.1 MODELO SWAN

El modelo SWAN (Simulating WAves Nearshore) es un modelo numérico espectral de tercera generación utilizado para obtener estimaciones realistas de los parámetros de olas (alturas, periodos y direcciones) en áreas costeras, lagos y estuarios para una configuración batimétrica especificada y para condiciones dadas de viento y corrientes. Simula la energía contenida en las ondas en su propagación desde superficies oceánicas hasta zonas costeras.

Este modelo se basa en la ecuación de balance de energía y trabaja con mallas ortogonales y cartesianas que pueden anidarse y que permite forzar al modelo por los cuatro lados de la malla general. Contempla el oleaje generado por viento local e incluye los efectos no lineales de interacción ola-ola y white-capping. Además, considera los fenómenos de reflexión, asomeramiento, disipación de energía por fondo y rotura. Sin embargo, resuelve la difracción de forma aproximada.

En estos trabajos se ha ejecutado el modelo SWAN a través del entorno gráfico GUIH-SWAN desarrollado por el IH Cantabria.

2.2 MODELO OLUCA-SP

El modelo Oluca-SP corresponde a los modelos espectrales no dispersivos que resuelven la fase, (MRF). Estos modelos discretizan el espectro de entrada en un número de secciones de energía a las que le asocian componentes El modelo requiere como entrada en el contorno exterior (mar adentro), un estado de mar direccional, el cual está representado por un espectro bidimensional discretizado en componentes frecuenciales y direccionales, las cuales son propagadas de manera simultánea.

Para la propagación de los componentes de energía, la aproximación parabólica incluye refracción-difracción con interacción oleaje-corriente (Kirby, 1986 a). El modelo predice las pérdidas de energía debido a la rotura del oleaje mediante la utilización de tres diferentes modelos estadísticos de disipación, dos de los cuales calculan la tasa media de disipación de energía asociada a un bore en movimiento (Battjes y Jansen, 1978; Thornton y Guza, 1983) y un tercero que asocia la tasa de disipación al gradiente entre el flujo de energía estable y local (Winyu y Tomoya, 1998).

En estos trabajos se ha empleado el módulo MOPLA del Sistema de Modelado Costero desarrollado por el IH Cantabria, que recoge, entre otros, el modelo numérico OLUCA-SP.

3. BATIMETRÍA EMPLEADA

Para la constitución del modelo digital del terreno necesario para llevar a cabo la propagación del oleaje desde aguas indefinidas hasta la costa, se realiza una superposición de información batimétrica y cartográfica disponible de la zona, así como el estudio topobatimétrico de detalle realizado en el marco del proyecto constructivo.

A continuación se exponen las batimetrías empleadas, desde la más general, necesaria para la propagación desde aguas profundas hasta la más detallada que enmarca la zona de estudio. Para el modelo SWAN, que propaga el oleaje desde aguas profundas hasta aguas someras, se emplea la batimetría más completa, mientras que para el modelo OLUCA se emplea la batimetría de detalle realizada en este año 2018.

- Batimetría general obtenida a partir del EMODnet (European Marine Observation and Data Network), que es una red de datos desarrollado y obtenido por instituciones europeas en el marco de la política marina común.

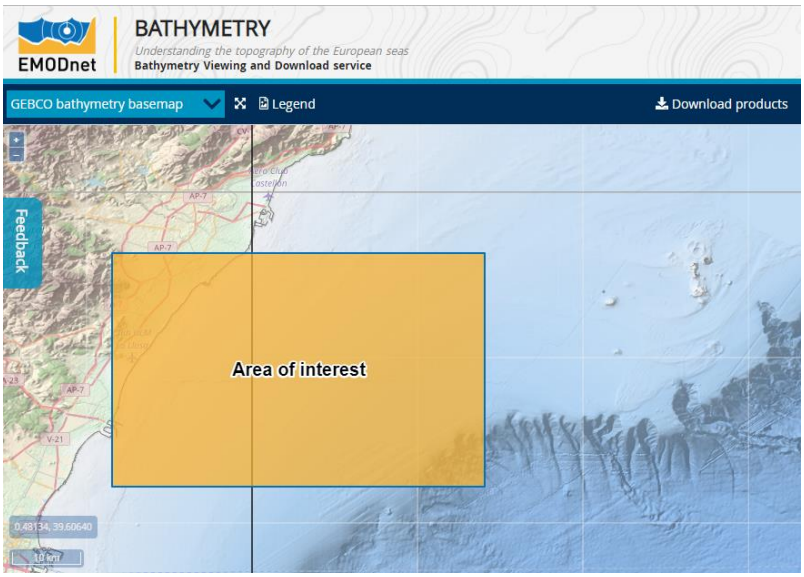


Figura 1. Vista del portal europeo EMODnet para la obtención de batimetrías de resolución más grosera.

En nuestro caso hemos seleccionado en dicho portal un área de interés con batimétricas hasta la profundidad de 90 m, de forma que el punto SIMAR seleccionado como fuente de datos queda dentro del marco de trabajo. Estos ficheros se proporcionan en formato ESRI ASCII, por lo que posteriormente hay que realizar la transformación adecuada.

- Batimetría para la provincia de Castellón realizada por la empresa HIDTMA dentro del Plan de Ecocartografías del litoral español que lleva a cabo la Dirección General de Sostenibilidad de la

Costa y el Mar, así como la línea de costa asociada. Esta batimetría llega hasta la profundidad de 40 m.

Figura 2. Vista de la batimetría general de la provincia de Castellón hasta la profundidad 40 m.

- Batimetría de detalle para la playa de estudio, realizada por la empresa MSM (Mediterránea Señales Marítimas SL) dentro del marco del proyecto, hasta la profundidad 10 m.

Figura 3. Vista de la batimetría y línea de costa de detalle, realizada hasta la profundidad 10 m.

De esta forma, queda completada la batimetría como muestra la siguiente figura. Según el modelo a aplicar y la fase de propagación del oleaje en la que nos encontremos, emplearemos la más general (para el SWAN) o la más detallada (para el OLUCA).

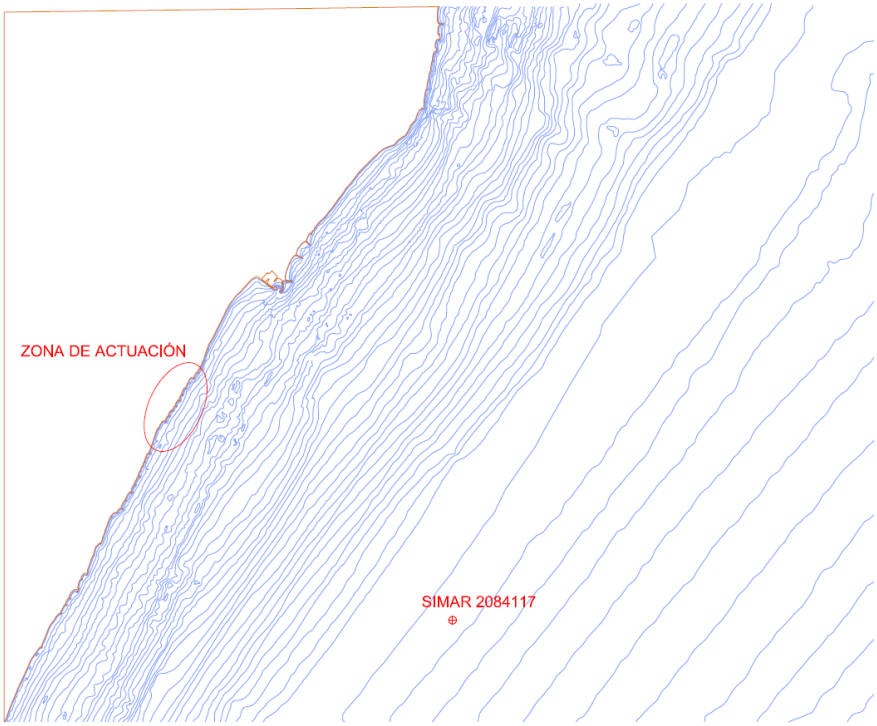


Figura 4. Vista de la batimetría completa, línea de costa, zona de actuación y situación del punto SIMAR.

4. EJECUCIÓN DEL MODELO SWAN

4.1 FUENTE DE DATOS: CASOS DE PROPAGACIÓN

La selección de estados de mar a propagar desde aguas profundas hasta aguas intermedias o someras se realiza mediante la técnica de máxima disimilitud. Esta técnica permite extraer, a partir de toda la serie histórica de datos, el subconjunto de estados de mar más representativos, considerando su dirección de propagación y los parámetros espectrales que lo caracterizan, para posteriormente realizar la transferencia hasta aguas someras mediante la técnica del hipercubo, a partir de la interpolación de los resultados de la propagación de casos con diferentes combinaciones de altura, periodo y dirección del oleaje.

Para ello se emplea el Hipercubo MAXDISS, algoritmo desarrollado por el IH Cantabria, que permite tanto la selección de los estados de mar representativos como la posterior reconstrucción de la serie en los puntos hasta los cuales se realiza la propagación. Esta reconstrucción de la serie se realiza

mediante técnicas de interpolación y nos permite realizar de nuevo el análisis de oleaje en la zona de interés.

La selección de casos se realiza a partir de la serie de datos del punto SIMAR 2084117. Se han filtrado aquellas direcciones de oleaje no activas, esto es, las correspondientes a los sectores S (180º) hasta el NNE (22º5), puesto que debido a la orientación de la línea de costa respecto al norte en nuestra zona de actuación ($\sim 30º$), los oleajes de interés son los comprendidos entre el NNE y el S.

De esta forma, con el método del hipercubo y máxima disimilitud se obtienen 150 casos (estados de mar), representados en rojo en las figuras siguientes.

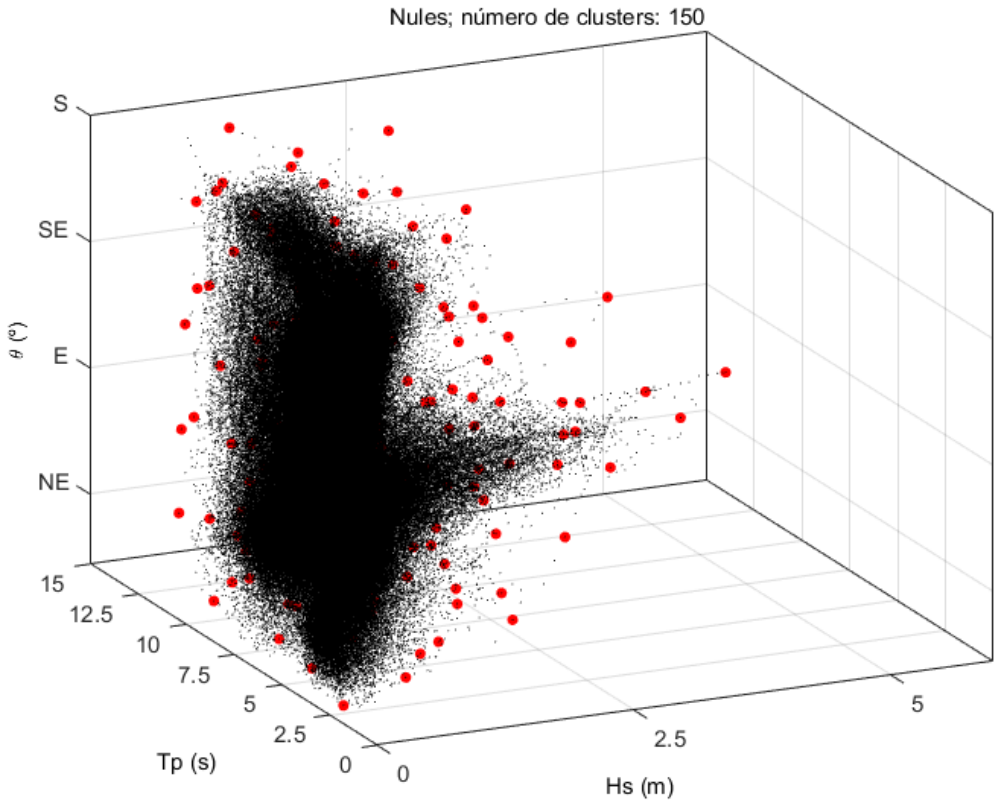


Figura 5. Hipercubo 3D de los estados de mar de la serie SIMAR 2084117.

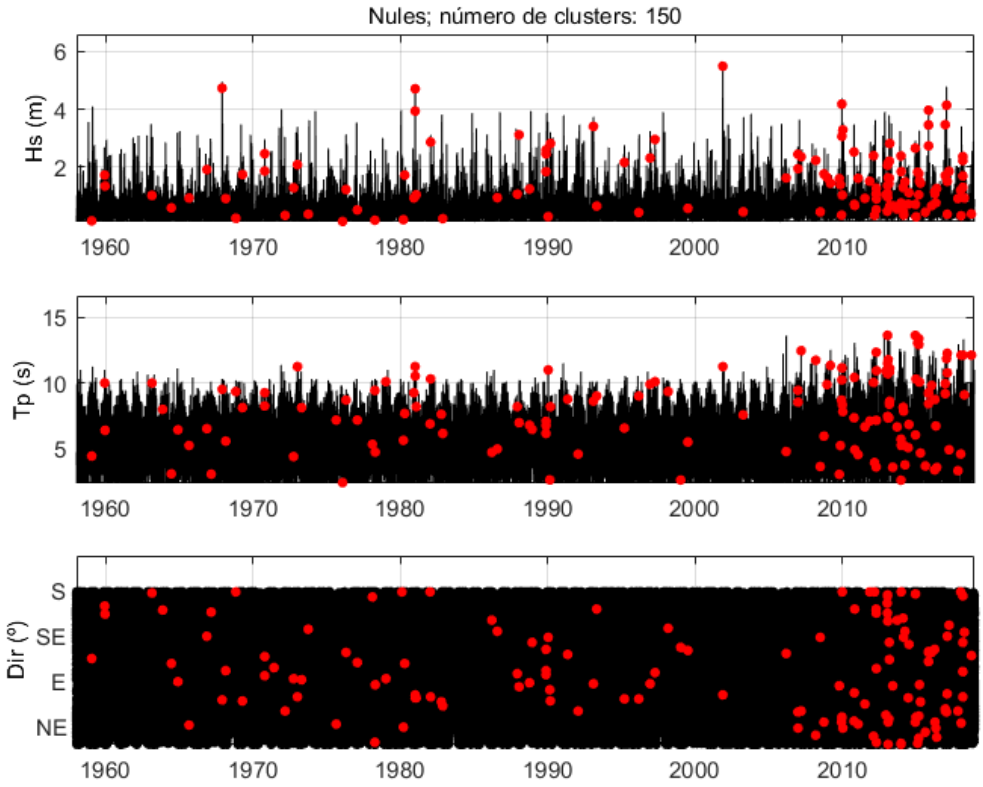


Figura 6. Series temporales y selección de estados de mar representativos de la serie SIMAR 2084117.

Una vez que se han seleccionado los estados de mar, se genera el fichero necesario que servirá como input para el SWAN. Cada estado de mar está caracterizado por la terna (Hs, Tp, Dir).

4.2 BATIMETRÍA Y MALLAS COMPUTACIONALES

La batimetría que se emplea es, como se indicó en el apartado anterior, la completada hasta la profundidad 90 para asegurar la situación del punto de forzamiento (punto SIMAR) en profundidades indefinidas.

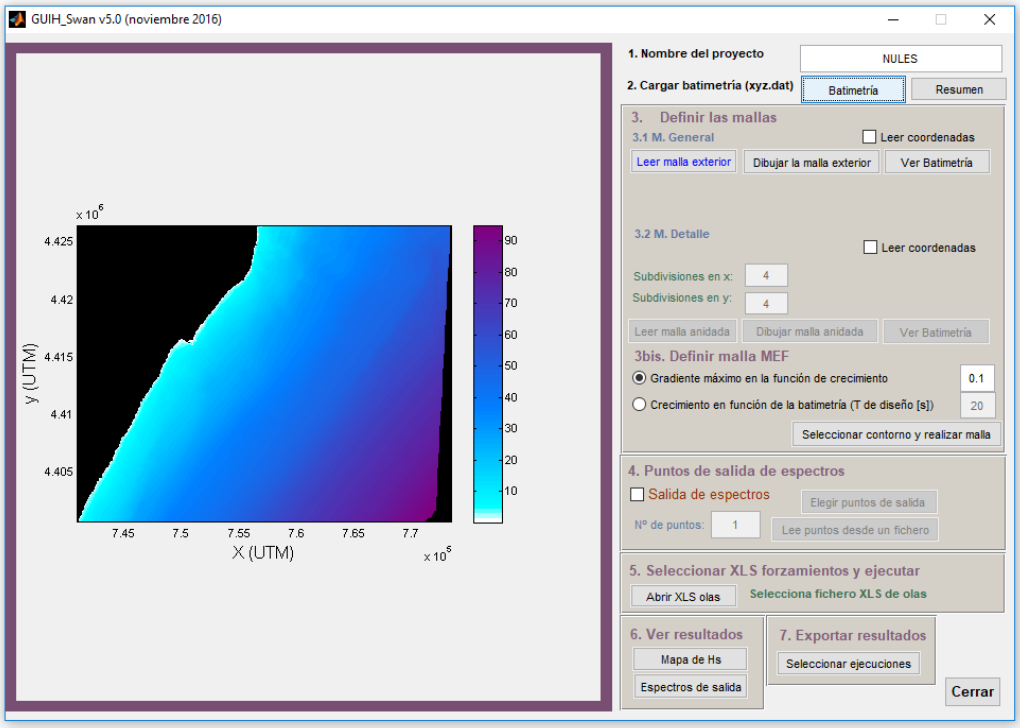


Figura 7. Vista del entorno gráfico del GUIH-SWAN con la batimetría.

Las mallas computacionales que se disponen son una general y otra anidada de detalle centrada en la playa de estudio. Las principales características de estas mallas se indican en la tabla adjunta.

Malla computacional	Xmin	Xmax	Ymin	Ymax	dx [m]	dy [m]
Malla general	745140	760010	4406066	4414966	100	100
Malla de detalle	746497	748587	4410994	4413084	25	25

Tabla 1.-Características de las mallas computacionales elegidas para la propagación con el modelo SWAN.

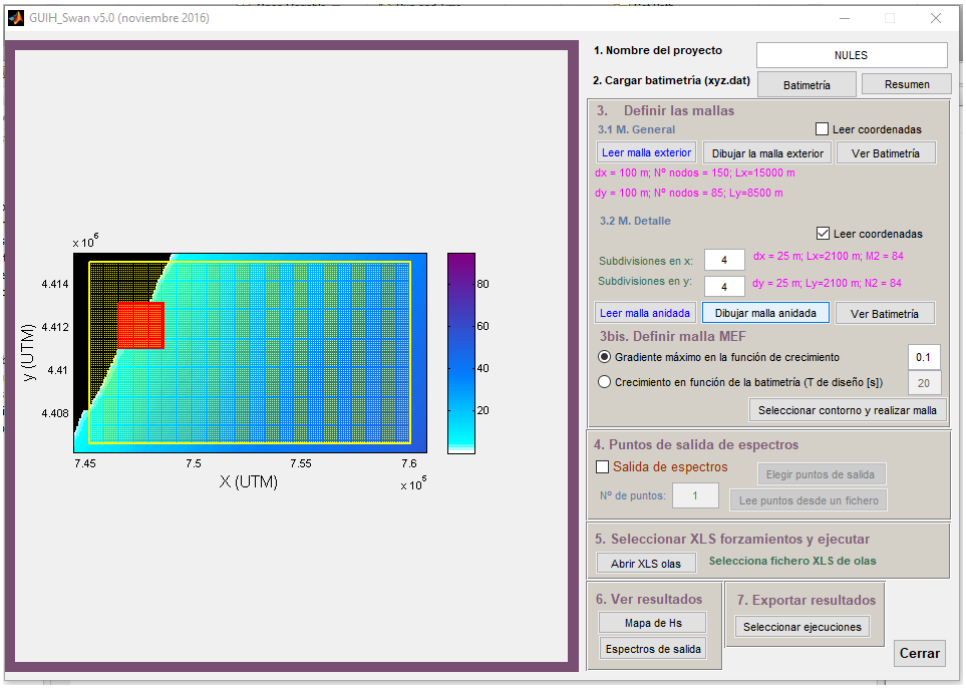


Figura 8. Vista del entorno gráfico del GUIH-SWAN con la malla general y la malla de detalle.

4.3 RESULTADOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LA SERIE EN EL PUNTO DE CONTROL

4.3.1 PUNTO DE CONTROL SELECCIONADO

Se ha tomado un punto de control en el interior de la malla anidada, situado a una profundidad de 10 m. La serie reconstruida en este punto de control servirá como input para la siguiente fase de propagación con el modelo OLUCA-SP.

Punto Control	Xutm	Yutm	Profundidad [m]
PC	748094.69	4411581.63	10

Tabla 2.- Punto de control (coordenadas y profundidad) para las propagaciones hasta aguas someras.

Figura 9. Situación del punto de control (PC) y mallas en el modelo SWAN.

Una vez realizadas las propagaciones de los estados de mar se reconstruye la serie por técnicas de interpolación, que permite, a través de los coeficientes de asomeramiento y refracción resultantes de la propagación de los estados de mar seleccionados, reconstruir la serie completa de oleaje en el punto objetivo.

A partir de la serie de oleaje reconstruida se realiza el análisis en régimen medio y extremal, que se recoge en los subapartados siguientes.

4.3.2 RÉGIMEN MEDIO EN EL PUNTO DE CONTROL

4.3.2.1 ROSA DE OLEAJE

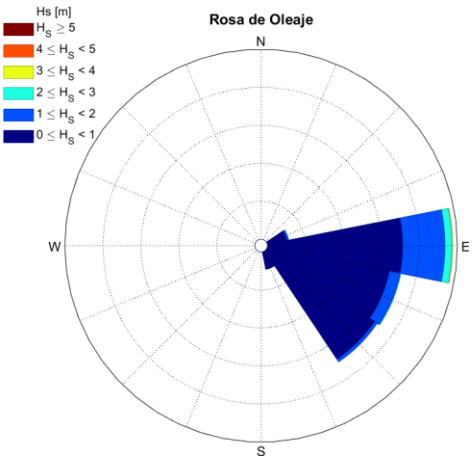


Figura 10. Rosa de oleaje en régimen medio en el punto de control a 10 m profundidad.

En la rosa de oleaje obtenida en el punto de control se observa el cambio experimentado por el oleaje desde aguas profundas hasta la costa. Así, es apreciable un incremento del porcentaje de oleajes de dirección del segundo cuadrante, gran parte de éstos originariamente procedentes del primer cuadrante, y que han cambiado su trayectoria gradualmente.

4.3.2.2 MEJOR AJUSTE Y ESTADÍSTICOS REPRESENTATIVOS

Se ha realizado además el mejor ajuste a funciones de distribución acumulada, obteniéndose, para cada dirección más probable y para el análisis escalar, los valores estadísticos más representativos, tal y como se indican en la tabla adjunta, donde $Hs12$ es el valor de altura de ola significante que es superada 12 horas en el año medio y $Hsp\%$ es el valor de altura de ola significante superado por el $(100 - p)\%$ de los datos.

Análisis	Hs25%	Hs50%	Hs90%	Hs99%	Hs12
Escalar	0.40	0.63	1.21	1.75	2.05
ENE	0.37	0.58	1.05	1.49	1.73
E	0.48	0.78	1.52	2.23	2.63
ESE	0.40	0.60	1.04	1.43	1.64
SE	0.38	0.53	0.81	1.05	1.17
SSE	0.33	0.47	0.77	1.02	1.15

Tabla 3.- Principales estadísticos en régimen medio en el punto de control a 10 m profundidad.

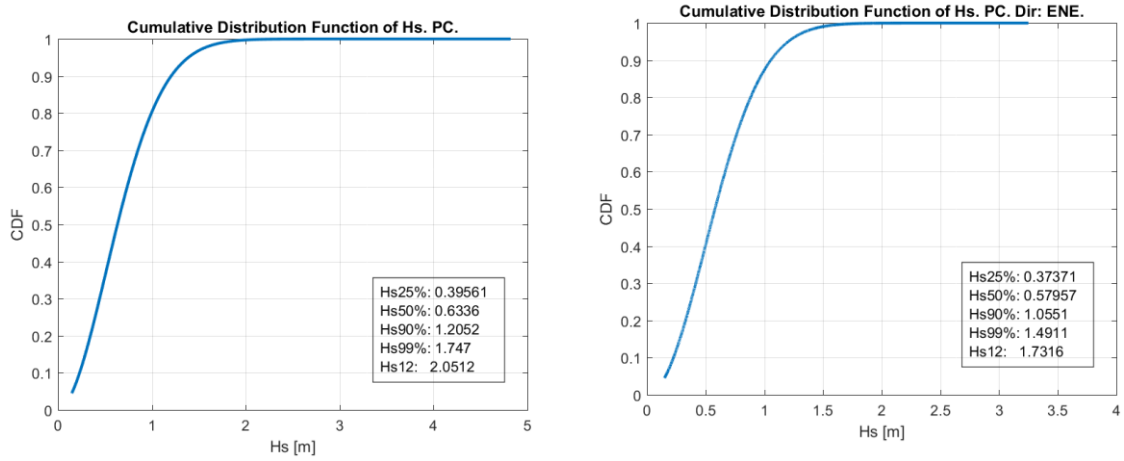


Figura 11. Función de distribución acumulada ajustada de Hs. Escalar y sectores ENE.

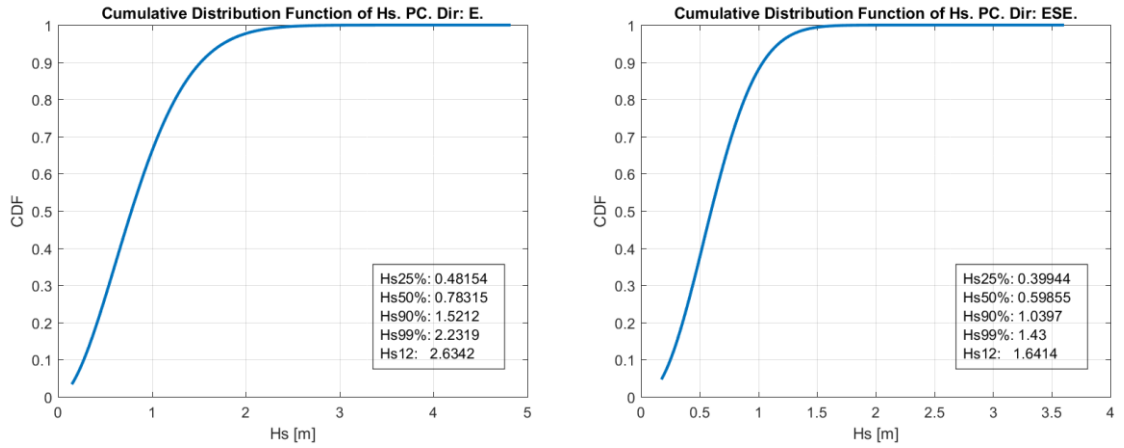


Figura 12. Función de distribución acumulada ajustada de Hs. Sectores E y ESE.

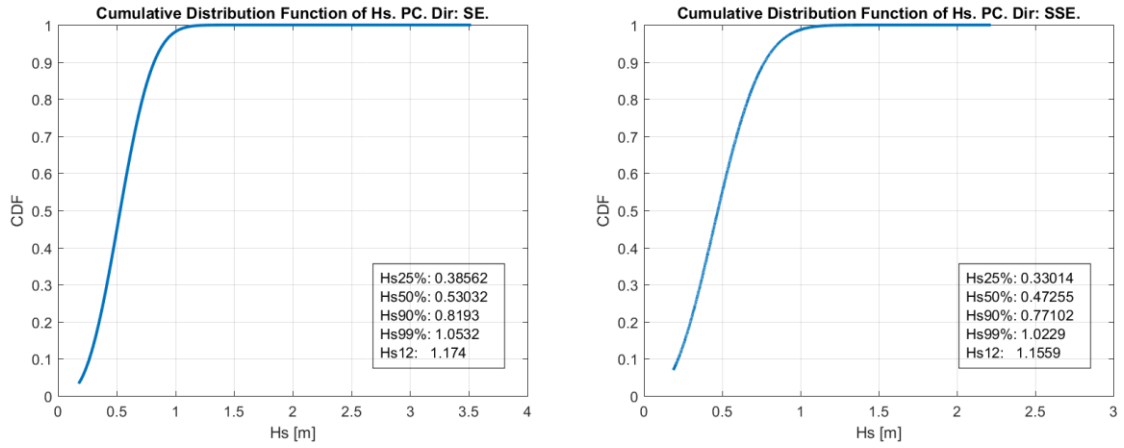


Figura 13. Función de distribución acumulada ajustada de Hs. Sectores SE y SSE.

4.3.3 RÉGIMEN EXTREMAL EN EL PUNTO DE CONTROL

De forma análoga al análisis en aguas profundas, tal y como se recoge en el anejo de clima marítimo, para describir el régimen extremal de la acción del oleaje se ha realizado un análisis de temporales mediante el método de picos sobre umbral, Peak Over Threshold (POT), obteniéndose las alturas de ola máximas para cada uno de los temporales. Se han tomado los siguientes criterios para definir el temporal tipo:

- Las alturas de ola significante exceden un valor umbral considerado $(Hs \geq Hsu)$, siendo la altura umbral Hs,u el percentil 98. El valor obtenido es $Hsu = 1.93\ m$.
- La tormenta tiene una duración mínima $Dmin = 6\ h$.
- La duración mínima entre tormentas es $Dmin2 = 12\ h$.

A continuación se recogen las principales caracterizaciones de dicho régimen.

4.3.3.1 ROSA DE OLEAJE

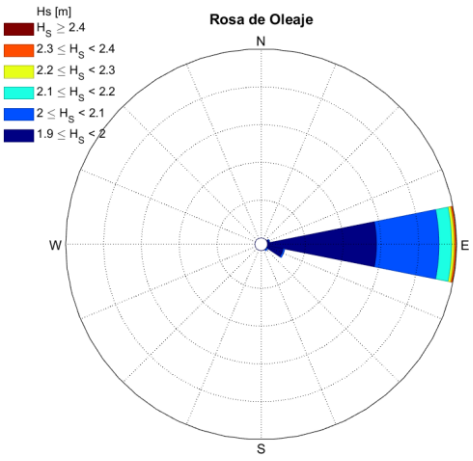


Figura 14. Rosa de oleaje en régimen extremal en el punto de control a 10 m profundidad.

Como se puede observar en la rosa de oleaje, la dirección de propagación más frecuente en la que mayor peso tienen los temporales se ha reorientado del sector ENE al sector E.

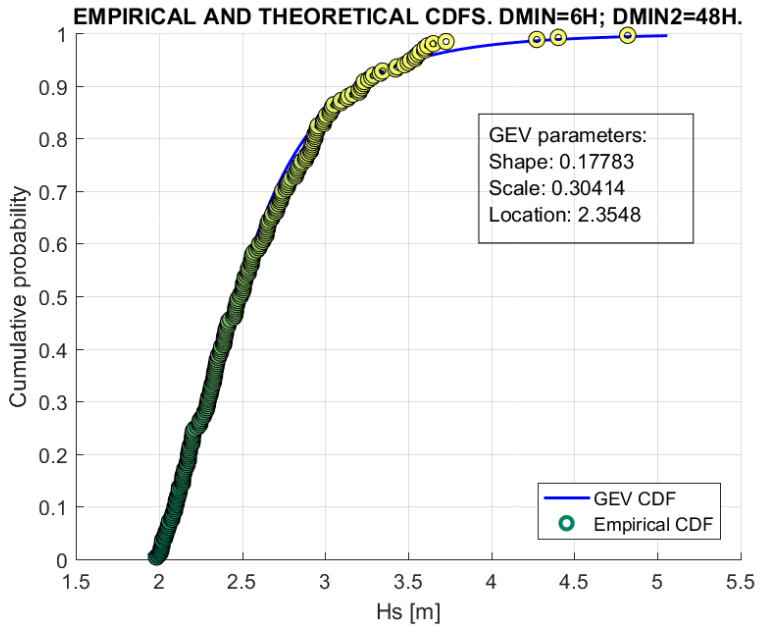
4.3.3.2 MEJOR AJUSTE Y ESTADOS DE MAR DE DISEÑO

Una vez localizados los temporales y sus valores máximos, se ha realizado el ajuste de los datos mediante la Función Generalizada de Distribución de Valores Extremos (GEV), que permitirá definir de forma óptima la cola superior de la variable de interés (altura de ola significante en nuestro caso). La función de distribución GEV viene dada por la siguiente expresión:

$$F(x;k,\sigma,\mu) = exp\left\{-\left[1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/k}\right\}$$

Donde x es la variable aleatoria, *k* es el parámetro de forma, σ sigma es el parámetro de escala y μ es el parámetro de localización.

Las figuras adjuntas muestran el mejor ajuste obtenido y sus parámetros. Se ha realizado el ajuste para toda la serie de datos de temporal y para el sector E, sector en el que se concentran la mayor parte de los temporales.



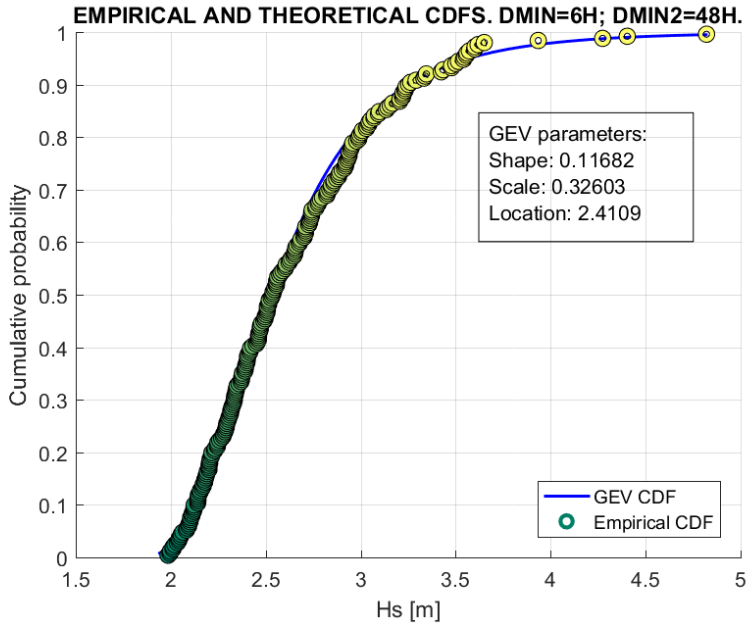


Figura 15. Función generalizada de extremos. Análisis direccional (E).

A partir del ajuste realizado con la GEV se realiza la extrapolación y se obtienen los valores representativos para diferentes periodos de retorno (Tr), teniendo en cuenta el número de temporales por año (nt) y la función inversa

$$H_{s,Tr} = CdF^{-1}\left(1 - \frac{1}{nt \cdot Tr}\right)$$

Una vez conocidas las alturas de ola Hs, se obtienen los periodos medios esperados ($E[Tz]$) a partir del ajuste por límites de peralte y los periodos de pico esperados ($E[Tp]$) realizados en el anejo de clima marítimo.

Análisis escalar.			
Período de retorno Tr	**Hs [m]**	**E[Tz] [s]**	**E[Tp] [s]**
1 año	2.79	5.98	8.62
5 *años*	3.56	6.75	9.57
10 años	3.95	7.11	10.01
25 años	4.55	7.63	10.65
50 años	5.06	8.05	11.15
68 *años*	5.30	8.24	11.39

Tabla 4.-Caracterización de oleaje extremo para distintos periodos de retorno (escalar, profundidad 10 m).

Análisis direccional. Sector E.			
Período de retorno Tr	**Hs [m]**	**Tz [s]**	**Tp [s]**
1 año	2.86	6.05	8.58
5 *años*	3.59	6.78	9.52
10 años	3.93	7.10	9.92
25 años	4.42	7.52	10.47
50 años	4.82	7.86	10.90
68 años	5.02	8.02	11.11

Tabla 5.-Caracterización de oleaje extremo para distintos periodos de retorno (sector E, profundidad 10 m).

Los valores anteriores junto con el valor H_{s12} obtenido en el régimen medio son de especial relevancia para el estudio de dinámica litoral y el estudio de alternativas.

5. EJECUCIÓN DEL MODELO OLUCA-SP

5.1 FUENTE DE DATOS: CASOS DE PROPAGACIÓN

Una vez reconstruida la serie de oleaje en el punto de control, se realiza de nuevo la selección de casos por el método del hipercubo y máxima disimilitud, obteniéndose 99 casos (estados de mar) representativos, representados en rojo en las figuras siguientes. Como se pudo apreciar en la reconstrucción de la serie de oleaje, las direcciones de propagación en el punto de control se encuentran concentradas en 4 sectores principales.

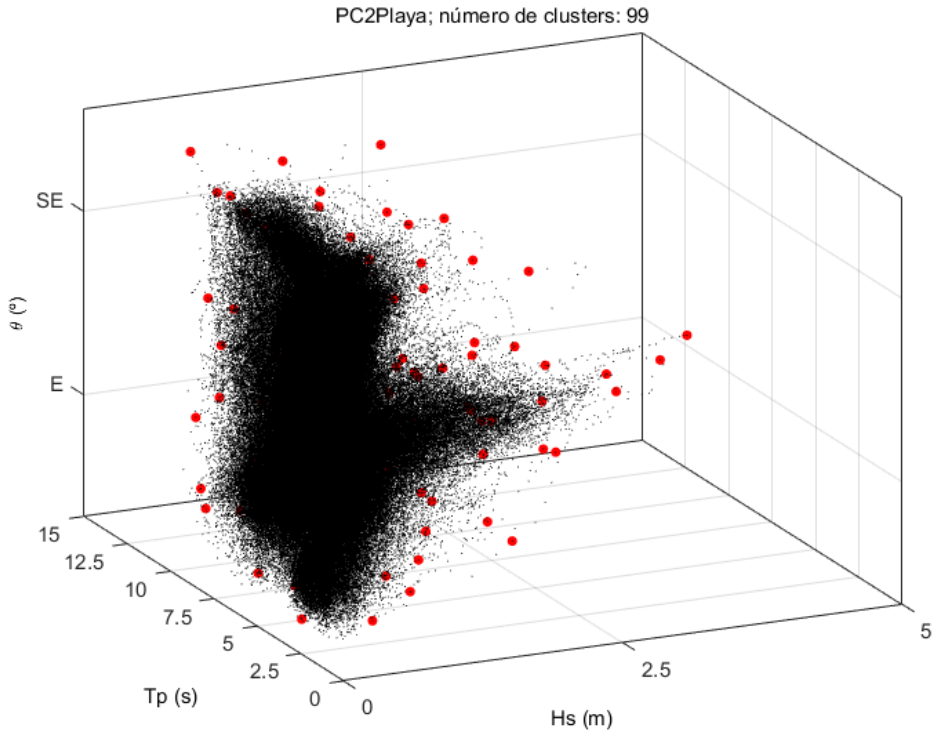


Figura 16. Hipercubo 3D de los estados de mar de la serie reconstruida en el punto de control.

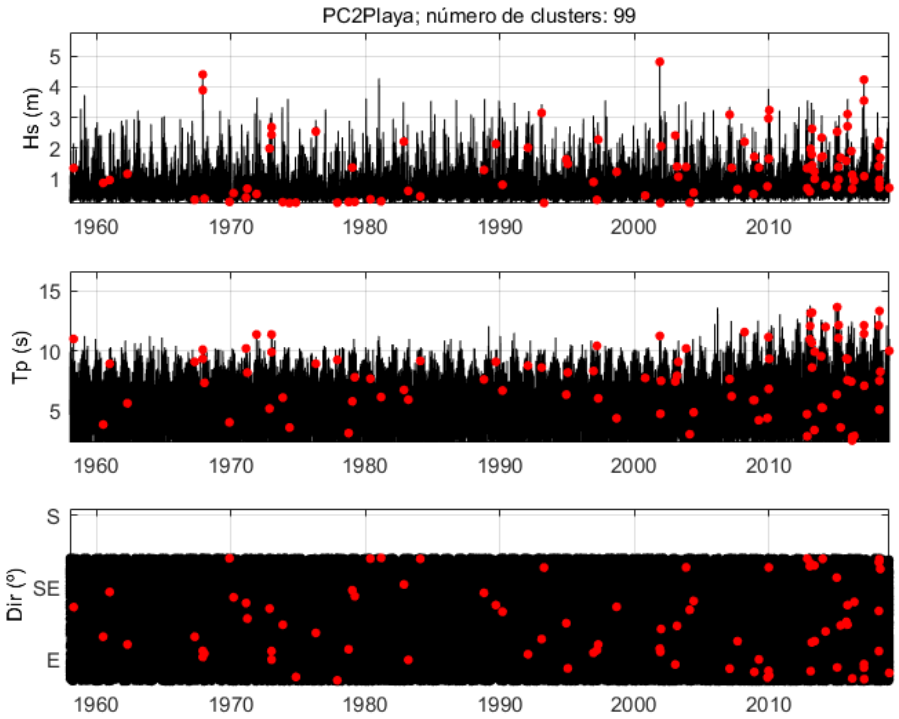


Figura 17. Series temporales de Hs, Tp y Dir y selección de estados de mar representativos en el punto de control.

Estos casos serán propagados mediante el modelo espectral OLUCA SP, bajo el entorno del módulo MOPLA del Sistema de Modelado Costero, como ya se indicó anteriormente al principio de este anejo.

Una vez que se han seleccionado los estados de mar, se genera el fichero necesario que servirá como input para el modelo espectral OLUCA-SP bajo el entorno del módulo MOPLA. Cada estado de mar está caracterizado por (Hs, fp, γ, Dir), donde fp es la frecuencia de pico asociada y γ es el parámetro de apuntamiento del espectro, obtenido a partir de los valores de Hs y Tp.

5.2 BATIMETRÍA Y MALLA COMPUTACIONAL

La batimetría que se emplea es la batimetría de detalle que ha sido obtenida en el desarrollo de los trabajos de este proyecto y que abarca hasta la profundidad 10 m, profundidad a la que se encuentra el punto de control en el que se reconstruyó la serie de oleaje tras la propagación por el modelo SWAN.

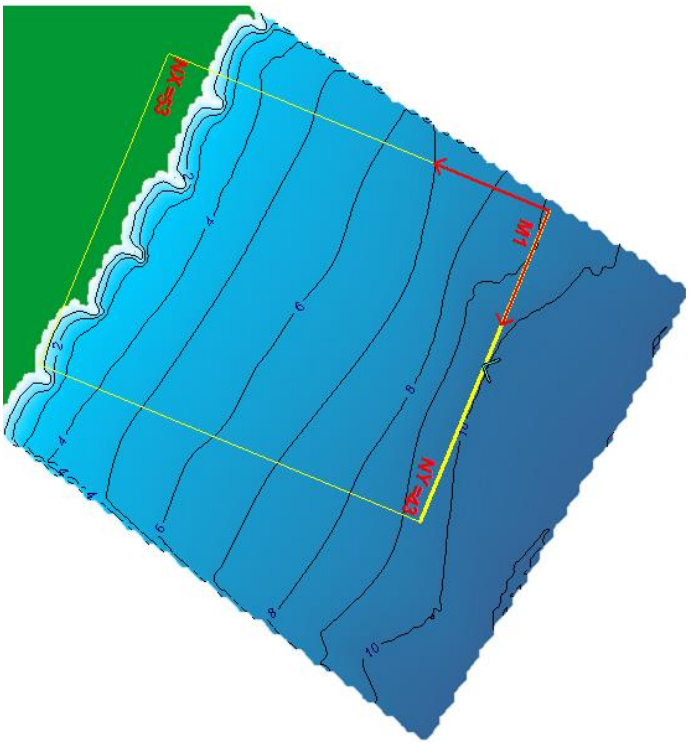


Figura 18. Vista del entorno gráfico del MOPLA con la batimetría de detalle y la malla computacional.

La malla computacional que se dispone es una única malla cuyo eje Y está orientado 157º5 respecto al Norte (en sentido antihorario). Esta orientación es suficiente para cubrir todas las direcciones principales de propagación del oleaje, puesto que el modelo recomienda que las direcciones de propagación de los oleajes a propagar estén en un rango de ±55º con respecto al eje X de la malla. Las principales características de esta malla se indican en la tabla adjunta.

	Origen (UTM)		Dimensiones [m]		Divisiones	
Malla computacional	X	Y	X	Y	Filas x	Columnas Y
M1	748293	4412093	1152.53	941.73	53	43

Tabla 6.- Características de la malla computacional elegida para la propagación con el modelo MOPLA.

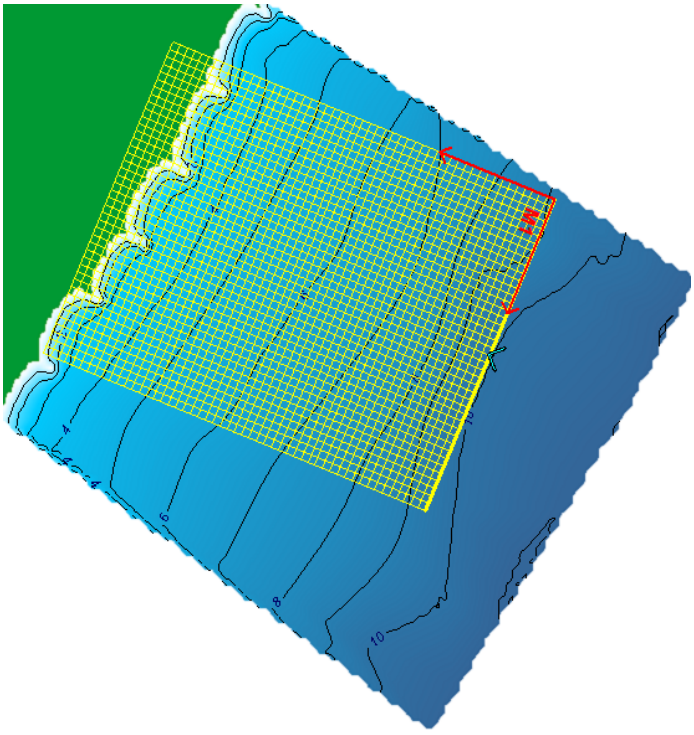


Figura 19. Vista de la malla computacional M1 en el entorno del módulo MOPLA.

La siguiente figura muestra el entorno de cálculo con la batería de casos cargados para su ejecución.

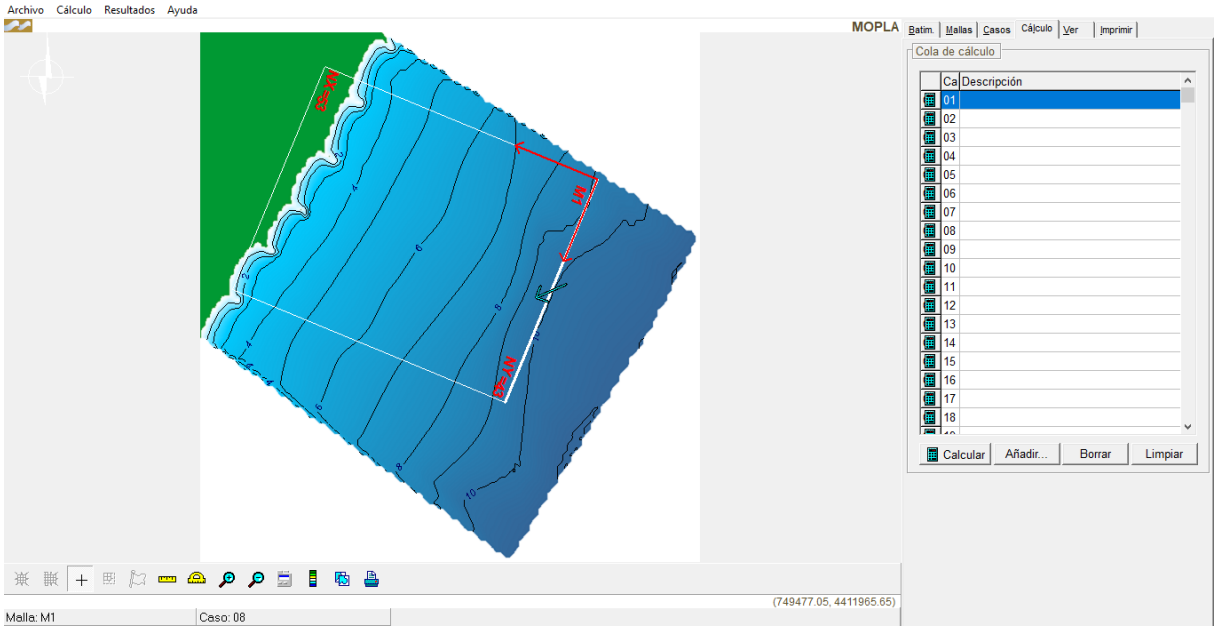


Figura 20. Vista de la pestaña de cálculo de los casos espectrales en el entorno del módulo MOPLA.

5.3 RESULTADOS Y RECONSTRUCCIÓN DE LAS SERIES EN LOS PUNTOS DE CONTROL

5.3.1 PUNTOS DE CONTROL

Se han tomado diversos puntos de control para poder reconstruir las series de oleaje en estos puntos objetivo y obtener así los parámetros de Hs necesarios para el diseño. Estos puntos de control se han situado a distintas profundidades y están estratégicamente localizados en aproximadamente las zonas centrales de las celdas litorales y frente a los puntos de difracción (Figura 21).

Figura 21. Localización de los puntos de control seleccionados para la propagación hasta pie de playa.

La siguiente tabla indica las coordenadas UTM y la profundidad a la que se encuentran los puntos.

Punto Control	Xutm	Yutm	Profundidad [m]
P1	747399.03	4412373.93	3
P2	747327.71	4412286.38	3
P3	747299.32	4412145.5	3
P4	747206.81	4412068.5	3
P5	747164.57	4411954.87	3

Punto Control	Xutm	Yutm	Profundidad [m]
P6	747097.37	4411890.84	3
P7	747047.63	4411794.36	3
P8	747467.14	4412328.95	4
P9	747368.16	4412107.45	4
P10	747259.34	4411897.08	4
P11	747133.64	4411731.72	4
P12	747601.35	4412262.68	5
P13	747479.35	4412040.5	5
P14	747355.95	4411833.4	5
P15	747243.13	4411662.57	5

Tabla 7.- Puntos de control (coordenadas y profundidad) para las propagaciones hasta pie de playa.

5.3.2 RÉGIMEN MEDIO EN LOS PUNTOS DE CONTROL

5.3.2.1 ROSAS DE OLEAJE

A continuación se presentan las rosas de oleaje obtenidas los puntos de control a pie de playa. Como se puede observar, el oleaje se ha reorientado hasta las direcciones E y ESE, al girar los frentes de onda hasta disponerse en una dirección sensiblemente paralela a la batimetría.

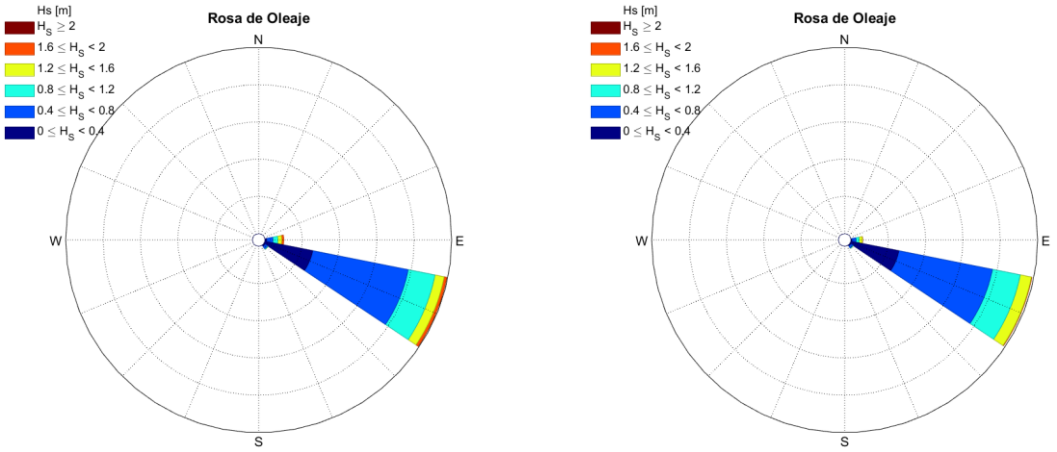


Figura 22. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P1 (izquierda) y P2 (derecha). Profundidad 3 m.

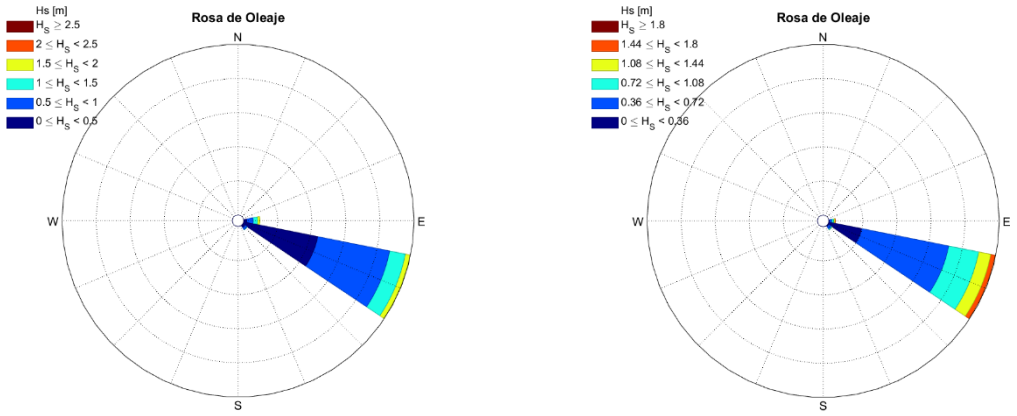


Figura 23. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P3 (izquierda) y P4 (derecha). Profundidad 3 m.

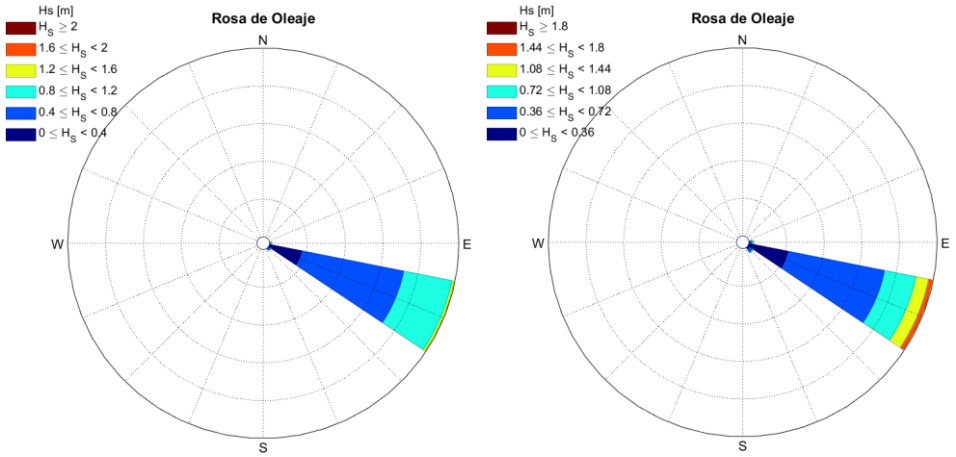


Figura 24. Rosa de oleaje en régimen medio. Puntos P5 (izquierda) y P6 (derecha). Profundidad 3 m.

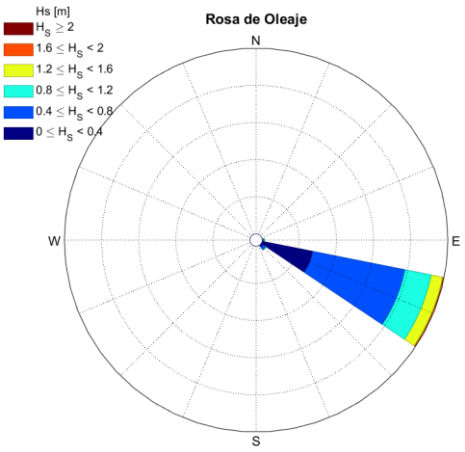


Figura 25. Rosa de oleaje en régimen medio. Punto P7. Profundidad 3 m.

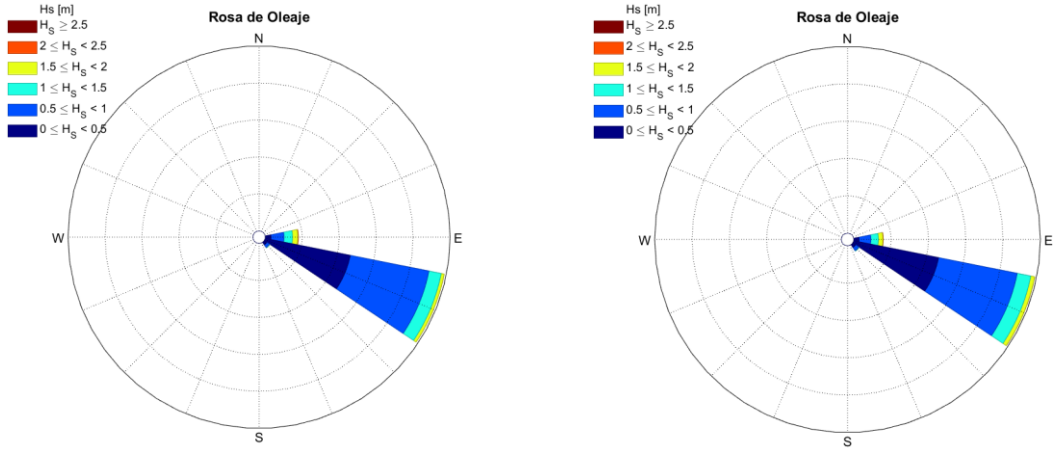


Figura 26. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P8 (izquierda) y P9 (derecha). Profundidad 4 m.

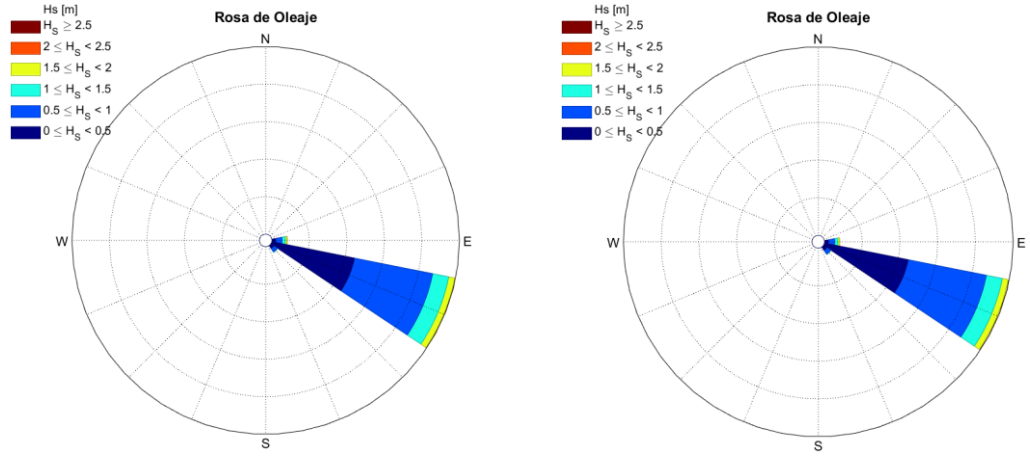


Figura 27. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P10 (izquierda) y P11 (derecha). Profundidad 4 m.

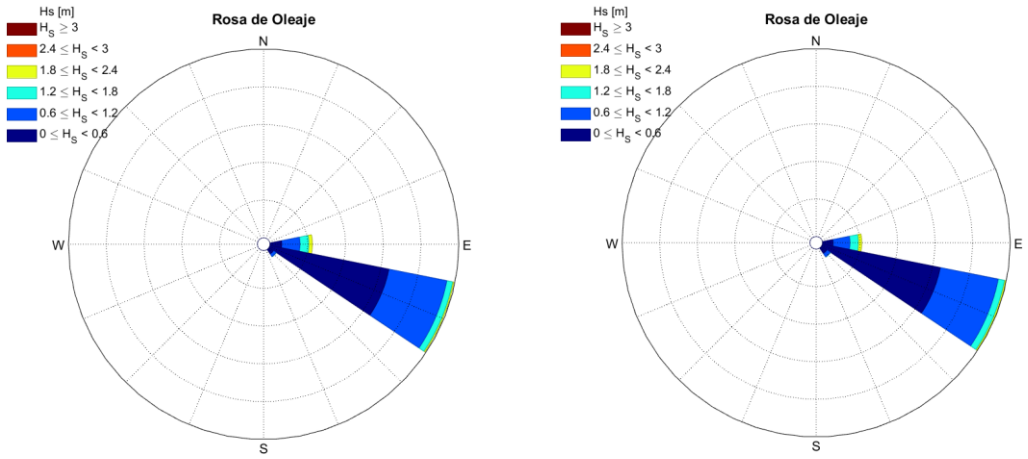


Figura 28. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P12 (izquierda) y P13 (derecha). Profundidad 5 m.

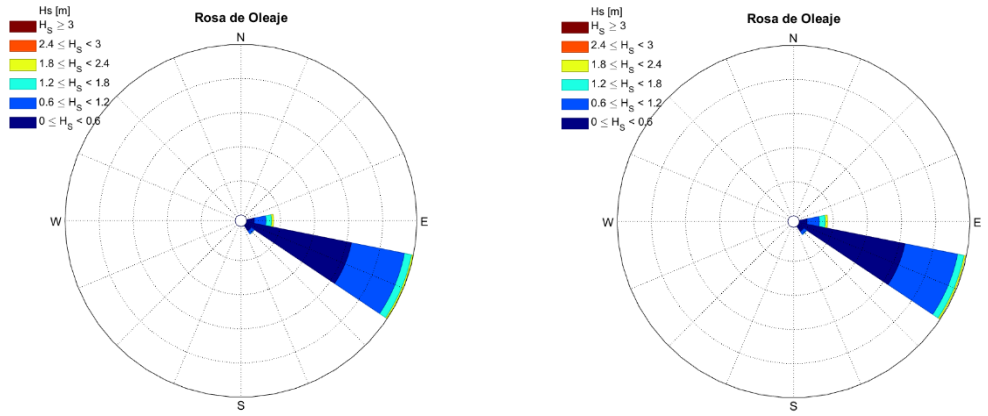


Figura 29. Rosas de oleaje en régimen medio. Puntos P14 (izquierda) y P15 (derecha). Profundidad 5 m.

5.3.2.2 MEJOR AJUSTE Y ESTADÍSTICOS REPRESENTATIVOS

Se ha realizado el mejor ajuste a funciones de distribución acumulada para las tres direcciones más frecuentes además de para el análisis direccional, obteniéndose para todas ellas los valores estadísticos más representativos, tal y como se muestran en las figuras siguientes y en la Tabla 8. $Hs12$ es el valor de altura de ola significante que es superada 12 horas en el año medio y $Hsp\%$ es el valor de altura de ola significante superado por el $(100 - p)\%$ de los datos. Las figuras de ajuste que se muestran corresponden al ajuste escalar y las tablas recogen los estadísticos para todos los sectores.

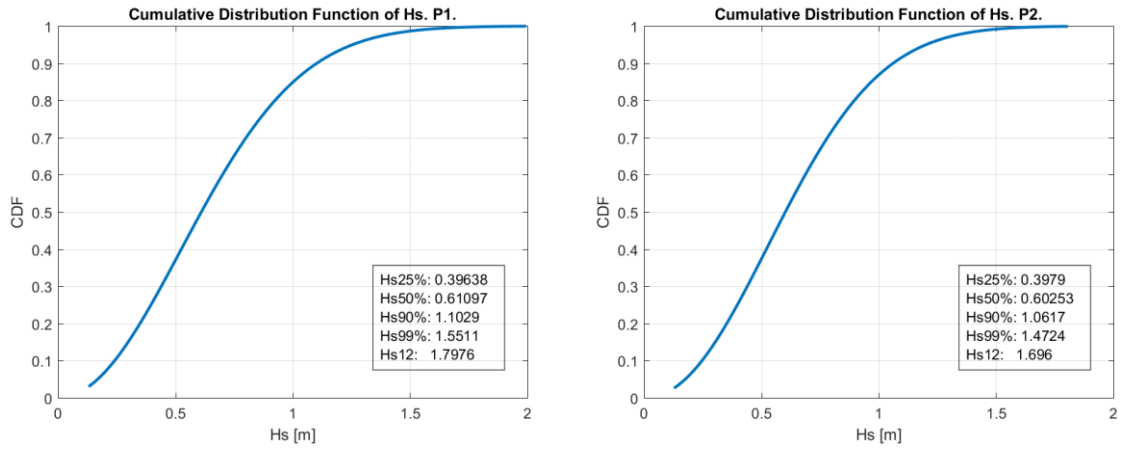


Figura 30. Función de distribución en régimen medio. Puntos P1 (izquierda) y P2 (derecha). Profundidad 3 m.

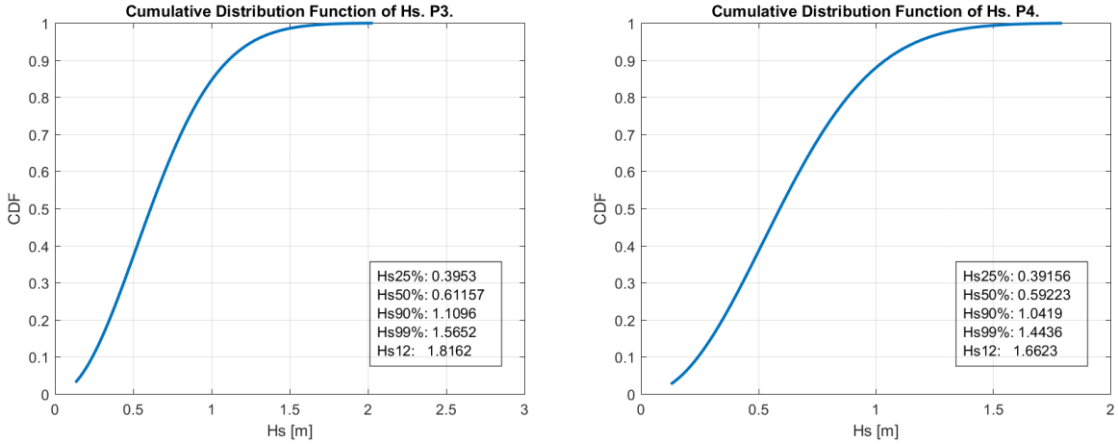


Figura 31. Función de distribución en régimen medio. Puntos P3 (izquierda) y P4 (derecha). Profundidad 3 m.

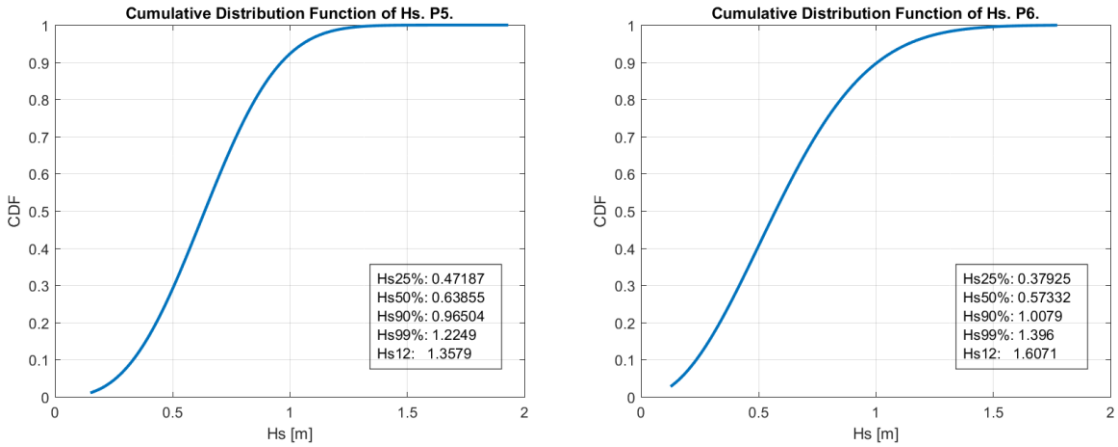


Figura 32. Función de distribución en régimen medio. Puntos P5 (izquierda) y P6 (derecha). Profundidad 3 m.

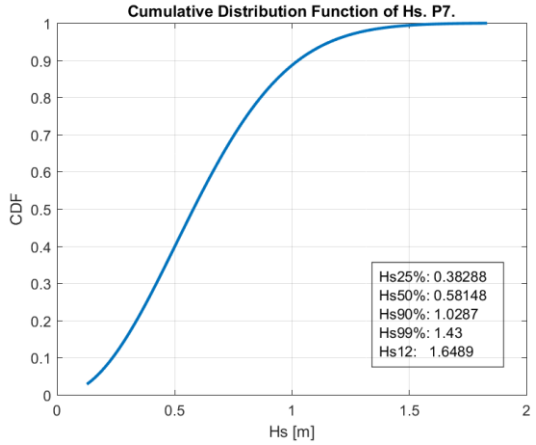


Figura 33. Función de distribución en régimen medio. Puntos P7. Profundidad 3 m.

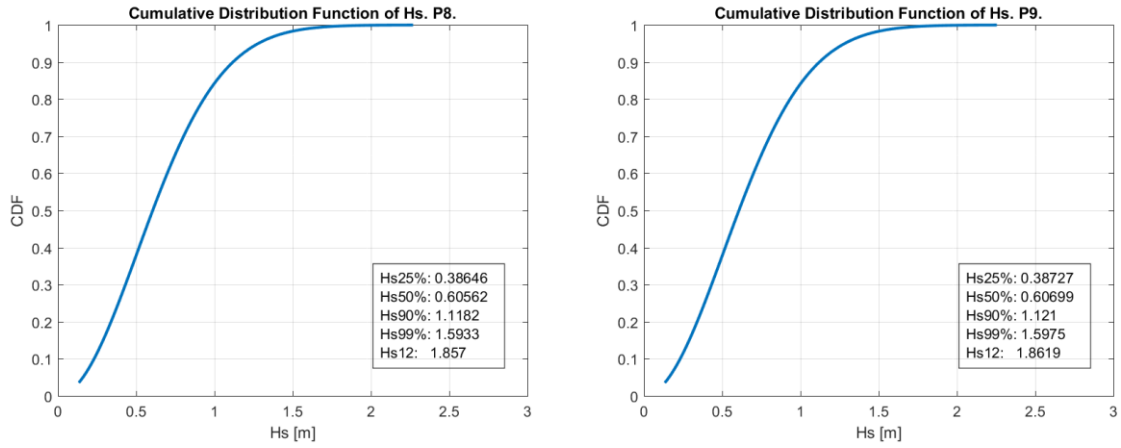


Figura 34. Función de distribución en régimen medio. Puntos P8 (izquierda) y P9 (derecha). Profundidad 4 m.

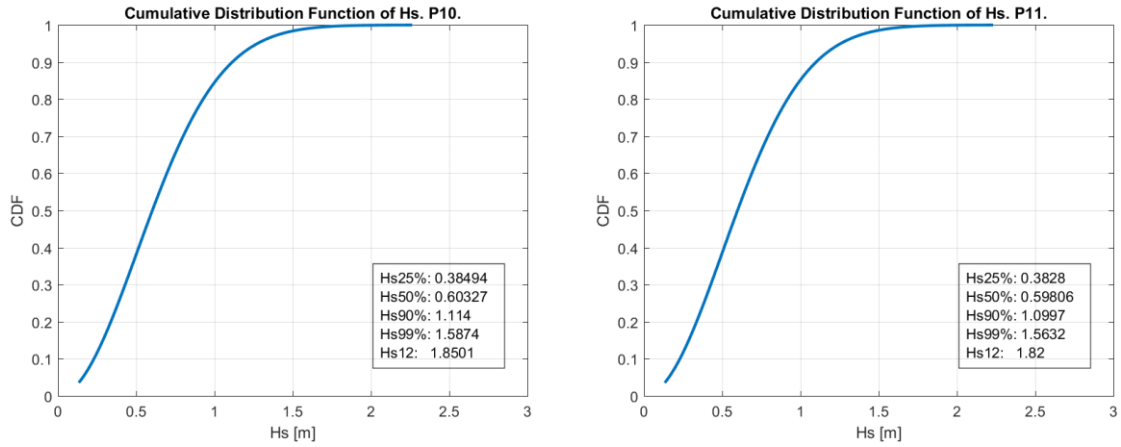


Figura 35. Función de distribución en régimen medio. Puntos P10 (izquierda) y P11 (derecha). Profundidad 4 m.

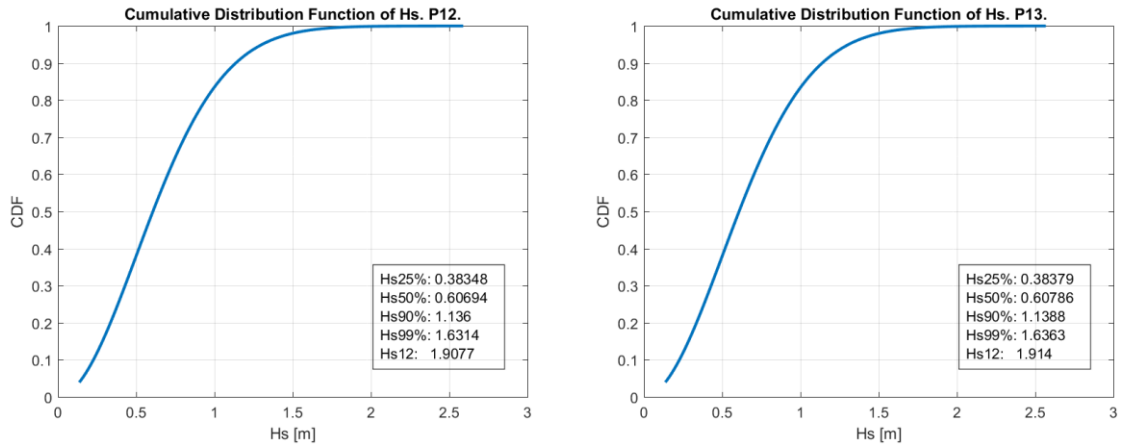


Figura 36. Función de distribución en régimen medio. Puntos P12 (izquierda) y P13 (derecha). Profundidad 5 m.

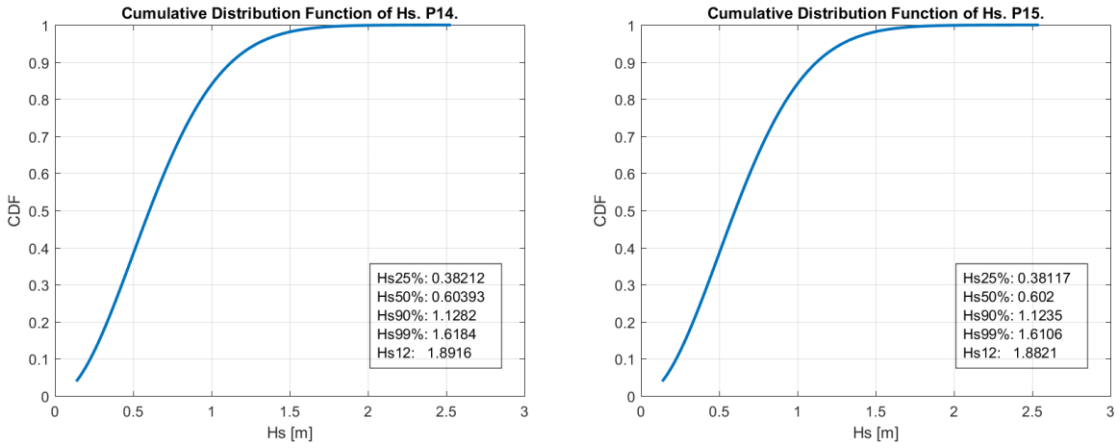


Figura 37. Función de distribución en régimen medio. Puntos P14 (izquierda) y P15 (derecha). Profundidad 5 m.

Las siguientes tablas muestra el resumen de los estadísticos más representativos obtenidos. La última columna indica un valor promedio de $Hs12$ en los puntos a la profundidad dada.

ESCALAR. Hs [m]							
Punto	**Prof [m]**	**Hs25%**	**Hs50%**	**Hs90%**	**Hs99%**	**Hs12**	**Hs12 promedio**
P1	3	0.40	0.61	1.10	1.55	1.80	1.66
P2	3	0.39	0.60	1.06	1.47	1.70	
P3	3	0.39	0.61	1.11	1.56	1.82	
P4	3	0.39	0.59	1.04	1.44	1.66	
P5	3	0.47	0.64	0.96	1.22	1.36	
P6	3	0.38	0.57	1.00	1.40	1.61	
P7	3	0.38	0.58	1.03	1.43	1.65	
P8	4	0.38	0.60	1.12	1.59	1.86	1.86
P9	4	0.38	0.56	0.95	1.27	1.45	
P10	4	0.63	0.93	1.60	2.19	2.50	
P11	4	0.37	0.56	1.00	1.41	1.63	
P12	5	0.38	0.61	1.12	1.60	1.86	1.87
P13	5	0.39	1.57	0.95	1.27	1.44	
P14	5	0.55	0.84	1.49	2.08	2.41	
P15	5	0.38	0.59	1.08	1.53	1.78	

Tabla 8.-. Principales estadísticos en régimen medio escalar en los puntos de control a pie de playa.

SECTOR E. Hs [m]							
Punto	**Prof [m]**	**Hs25%**	**Hs50%**	**Hs90%**	**Hs99%**	**Hs12**	**Hs12 promedio**
P1	3	0.64	0.93	1.55	2.07	2.35	2.08
P2	3	0.65	0.91	1.45	1.90	2.13	
P3	3	0.62	0.91	1.53	2.06	2.34	
P4	3	0.57	0.81	1.34	1.78	2.02	
P5	3	0.78	0.99	1.36	1.64	1.78	
P6	3	0.54	0.78	1.27	1.69	1.91	
P7	3	0.62	0.86	1.36	1.77	1.99	
P8	4	0.64	0.95	1.63	2.22	2.54	2.46
P9	4	0.63	0.93	1.60	2.19	2.50	
P10	4	0.55	0.84	1.49	2.09	2.41	
P11	4	0.54	0.82	1.47	2.06	2.38	
P12	5	0.61	0.93	1.65	2.30	2.66	2.65
P13	5	0.61	0.93	1.66	2.32	2.68	
P14	5	0.60	0.91	1.62	2.27	2.62	
P15	5	0.61	0.93	1.65	2.30	2.65	

Tabla 9.-. Principales estadísticos en régimen medio, sector E, en los puntos de control a pie de playa.

SECTOR ESE. Hs [m]							
Punto	**Prof [m]**	**Hs25%**	**Hs50%**	**Hs90%**	**Hs99%**	**Hs12**	**Hs12 promedio**
P1	3	0.38	0.58	1.04	1.44	1.66	1.61
P2	3	0.39	0.59	1.02	1.41	1.63	
P3	3	0.38	0.59	1.05	1.48	1.71	
P4	3	0.39	0.59	1.03	1.43	1.64	
P5	3	0.47	0.63	0.96	1.21	1.34	
P6	3	0.38	0.57	1.00	1.39	1.60	
P7	3	0.38	0.58	1.03	1.43	1.65	
P8	4	0.37	0.56	0.98	1.35	1.55	1.68
P9	4	0.37	0.56	1.01	1.41	1.63	
P10	4	0.37	0.59	1.08	1.53	1.78	
P11	4	0.37	0.58	1.08	1.52	1.76	

SECTOR ESE. Hs [m]							
Punto	**Prof [m]**	**Hs25%**	**Hs50%**	**Hs90%**	**Hs99%**	**Hs12**	**Hs12 promedio**
P12	5	0.36	0.55	0.96	1.33	1.53	1.60
P13	5	0.36	0.55	0.98	1.36	1.57	
P14	5	0.37	0.57	1.02	1.44	1.67	
P15	5	0.37	0.56	1.00	1.40	1.62	

Tabla 10.-. Principales estadísticos en régimen medio, sector ESE, en los puntos de control a pie de playa.

SECTOR SE. Hs [m]							
Punto	**Prof [m]**	**Hs25%**	**Hs50%**	**Hs90%**	**Hs99%**	**Hs12**	**Hs12 promedio**
P1	3	0.40	0.57	0.95	1.27	1.43	1.38
P2	3	0.41	0.58	0.94	1.25	1.40	
P3	3	0.41	0.59	0.97	1.29	1.46	
P4	3	0.39	0.56	0.91	1.21	1.36	
P5	3	0.55	0.70	1.00	1.22	1.33	
P6	3	0.39	0.55	0.88	1.16	1.30	
P7	3	0.40	0.56	0.90	1.18	1.33	
P8	4	0.39	0.57	0.95	1.27	1.45	1.42
P9	4	0.40	0.57	0.95	1.27	1.44	
P10	4	0.41	0.58	0.95	1.26	1.42	
P11	4	0.39	0.56	0.91	1.21	1.36	
P12	5	0.39	0.57	0.94	1.26	1.43	1.39
P13	5	0.40	0.57	0.94	1.25	1.41	
P14	5	0.39	0.56	0.91	1.21	1.37	
P15	5	0.39	0.56	0.91	1.21	1.37	

Tabla 11.-. Principales estadísticos en régimen medio, sector SE, en los puntos de control a pie de playa.

Como se puede observar, los oleajes más energéticos proceden de la dirección E, si bien son los menos frecuentes. En cambio, para el sector de mayor probabilidad de ocurrencia (el sector ESE), así como para el sector SE, el oleaje presenta valores de altura de ola menores respecto a las otras direcciones.

5.3.3 RÉGIMEN EXTREMAL EN LOS PUNTOS DE CONTROL

En este apartado se ha realizado el análisis del régimen extremal de la serie reconstruida de forma análoga al análisis desarrollado tanto en aguas profundas como en el punto de control a 10 m de profundidad, mediante la aplicación del método de picos sobre umbral y el ajuste a la función de extremos generalizada.

A continuación se recogen las principales caracterizaciones de dicho régimen.

5.3.3.1 ROSAS DE OLEAJE

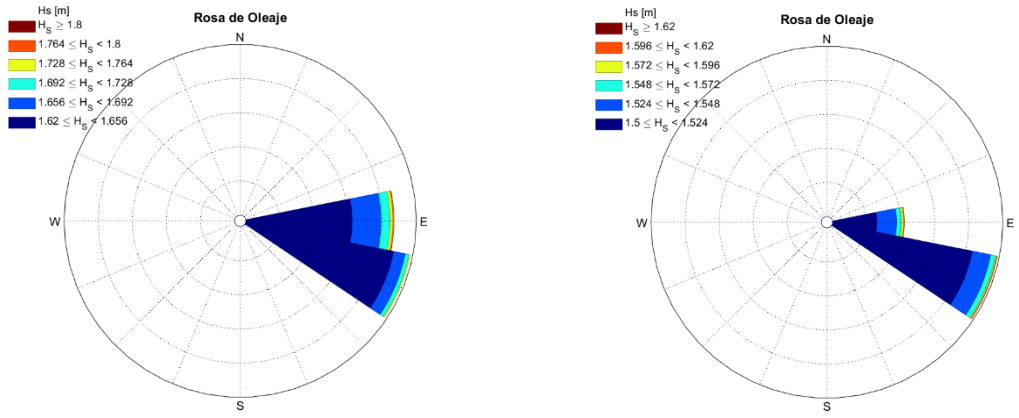


Figura 38. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P1 (izquierda) y P2 (derecha). Profundidad 3 m.

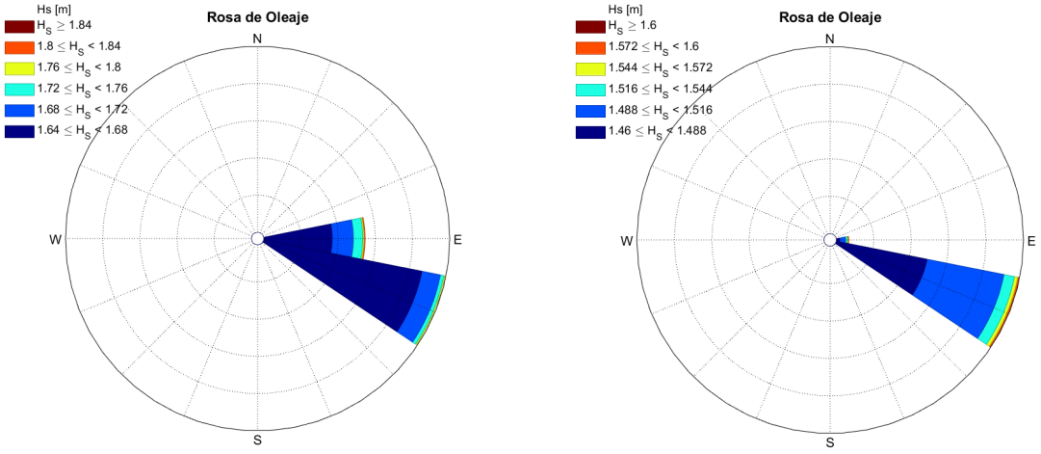


Figura 39. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P3 (izquierda) y P4 (derecha). Profundidad 3 m.

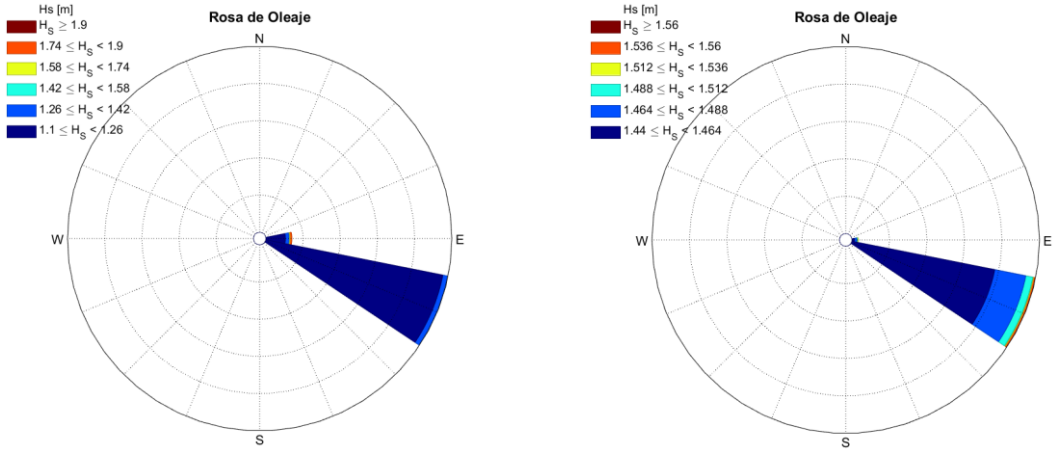


Figura 40. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P5 (izquierda) y P6 (derecha). Profundidad 3 m.

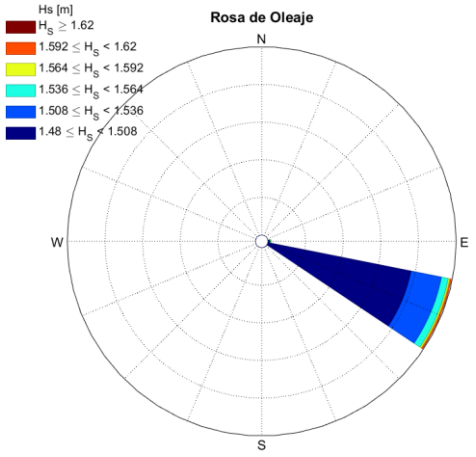


Figura 41. Rosas de oleaje en régimen extremal. Punto P7. Profundidad 3 m.

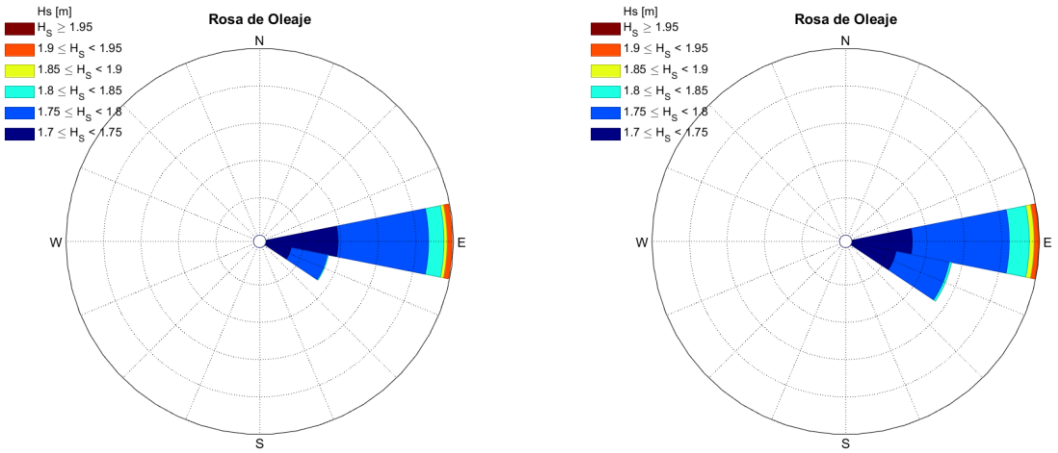


Figura 42. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P8 (izquierda) y P9 (derecha). Profundidad 4 m.

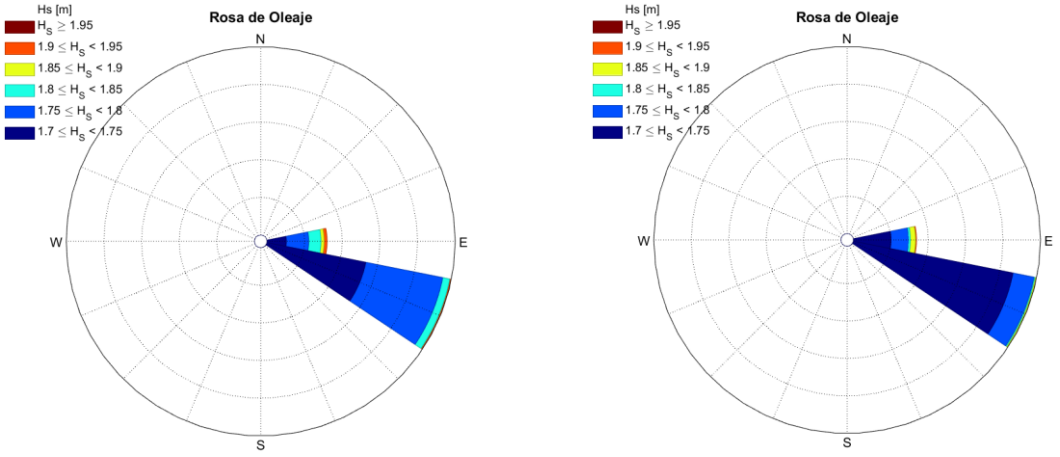


Figura 43. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P10 (izquierda) y P11 (derecha). Profundidad 4 m.

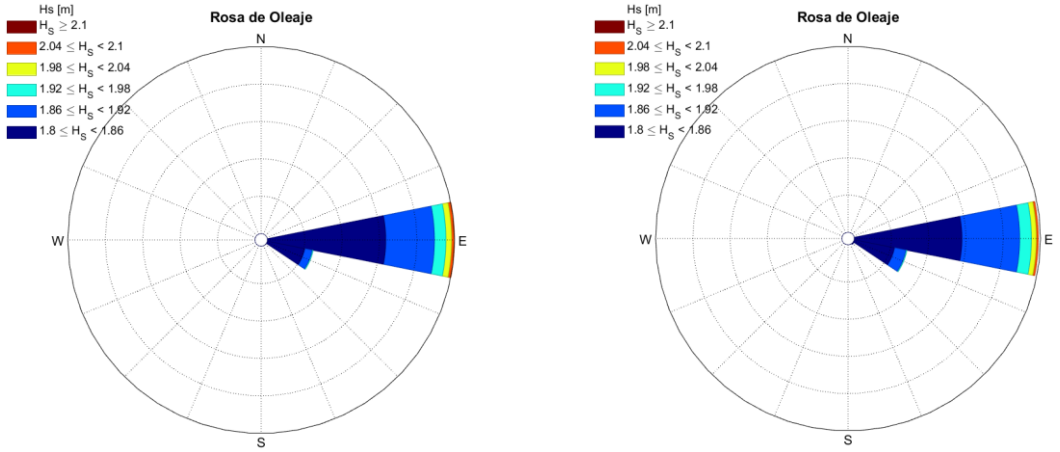


Figura 44. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P12 (izquierda) y P13 (derecha). Profundidad 5 m.

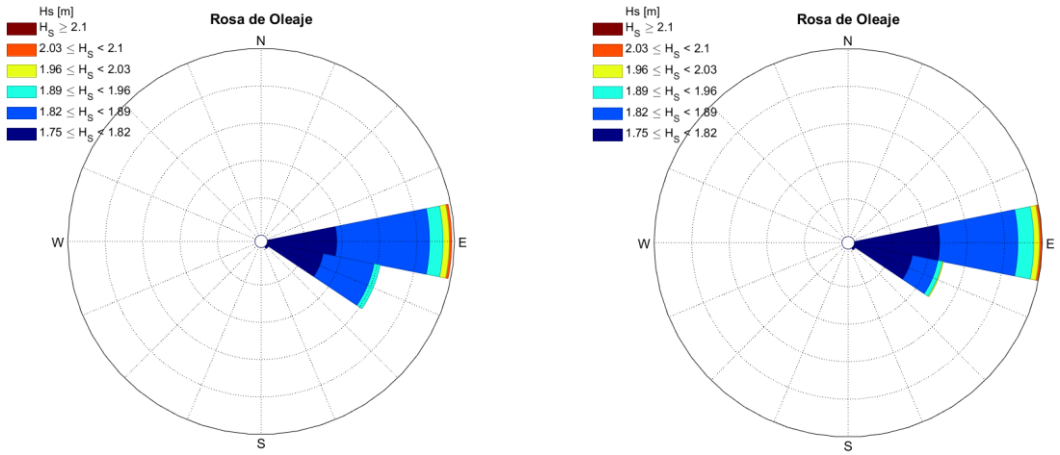


Figura 45. Rosas de oleaje en régimen extremal. Puntos P14 (izquierda) y P15 (derecha). Profundidad 5 m.

Como se puede observar en las rosas de oleaje, el oleaje en régimen de temporales está reorientado hacia dos direcciones principales: los sectores E y ESE. En los puntos de mayor profundidad (5 m) la dirección predominante es el E, mientras que en la línea de puntos de control de menor profundidad (3 m), la dirección predominante es la ESE.

5.3.3.2 MEJOR AJUSTE Y ESTADOS DE MAR DE DISEÑO

Una vez localizados los temporales y sus valores máximos, se ha realizado el ajuste de los datos mediante la Función Generalizada de Distribución de Valores Extremos (GEV), que permitirá definir de forma óptima la cola superior de la variable de interés (altura de ola significante en nuestro caso). La función de distribución GEV viene dada por la siguiente expresión:

$$F(x;k,\sigma,\mu) = exp\left\{-\left[1+k\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/k}\right\}$$

Donde x es la variable aleatoria, *k* es el parámetro de forma, σ sigma es el parámetro de escala y μ es el parámetro de localización.

Las figuras adjuntas muestran el mejor ajuste obtenido y sus parámetros. Se ha realizado el ajuste en todos los puntos, para toda la serie de datos de temporal y para los sectores predominantes (sector E y sector ESE). En las siguientes figuras se muestran las funciones de ajuste para el caso escalar, y en las tablas se recogen los valores extremales para el régimen escalar y para las direcciones de mayor probabilidad de ocurrencia.

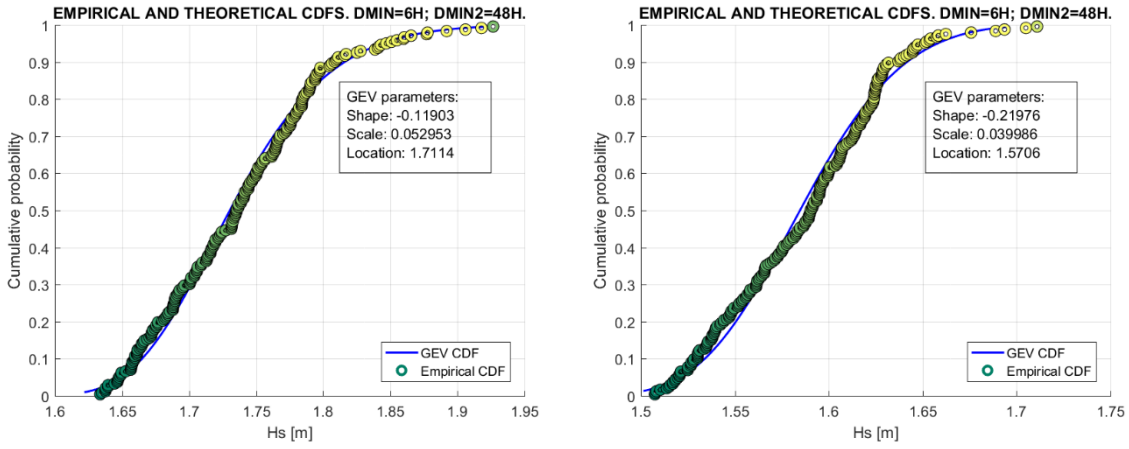


Figura 46. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P1 (izquierda) y P2 (derecha). Profundidad 3 m.

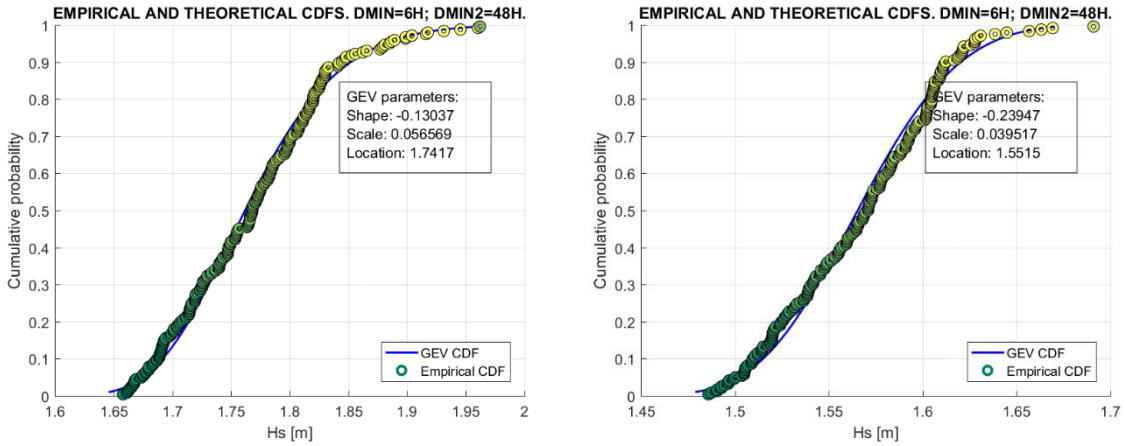


Figura 47. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P3 (izquierda) y P4 (derecha). Profundidad 3 m.

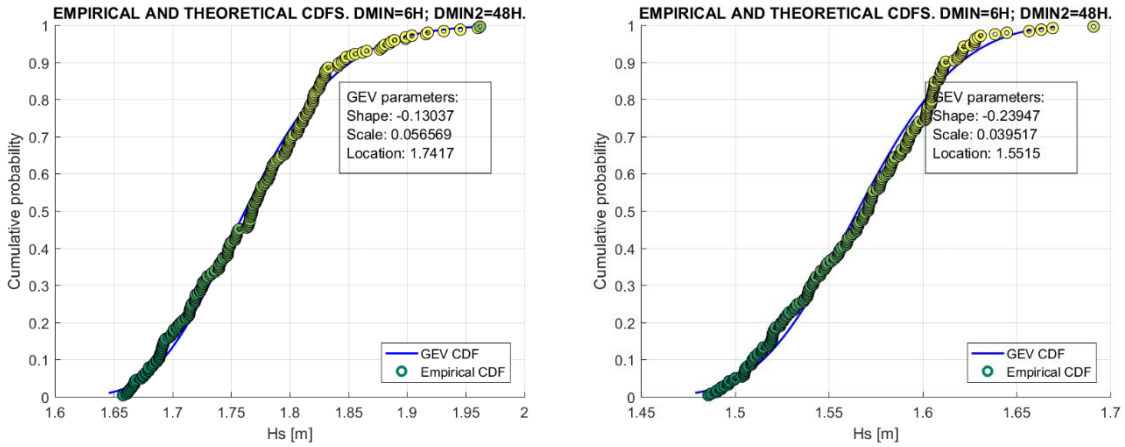


Figura 48. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P5 (izquierda) y P6 (derecha). Profundidad 3 m.

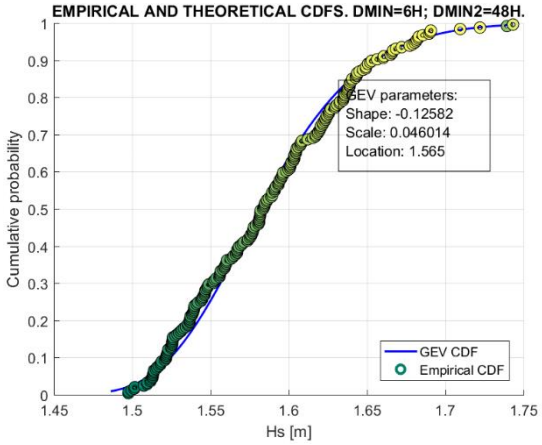
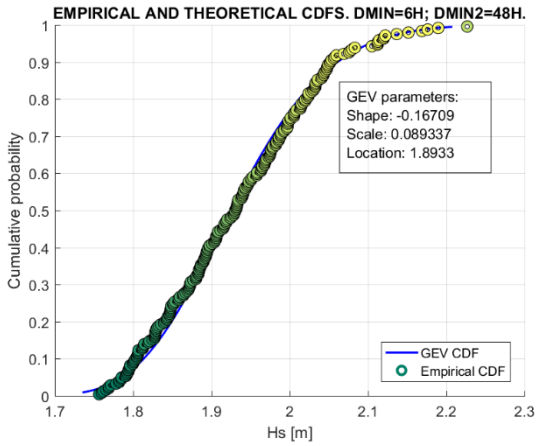


Figura 49. Función de distribución en régimen extremal. Punto P7. Profundidad 3 m.



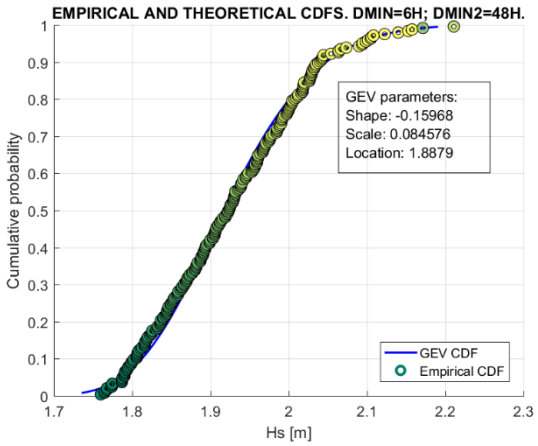
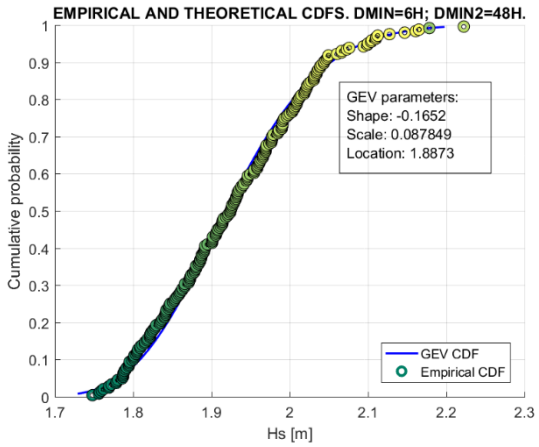


Figura 50. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P8 (izquierda) y P9 (derecha). Profundidad 4 m.



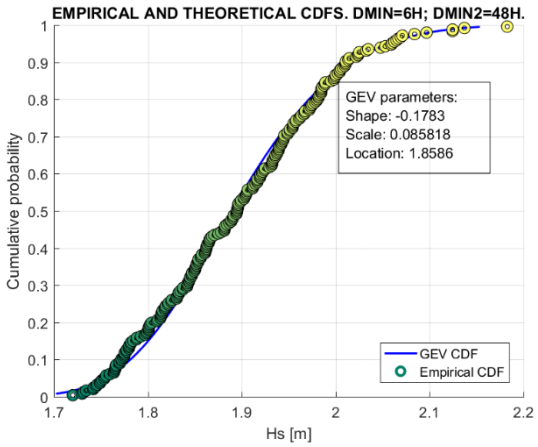
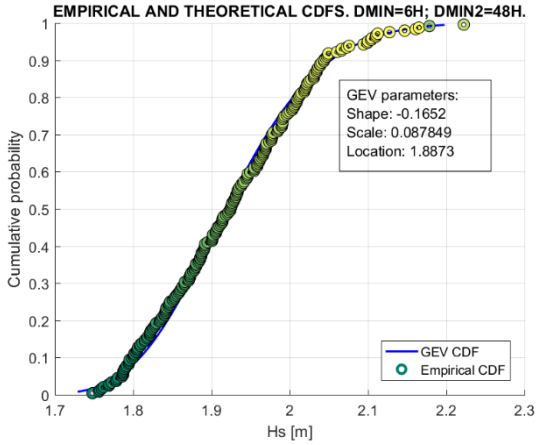


Figura 51. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P10 (izquierda) y P11 (derecha). Profundidad 4 m.



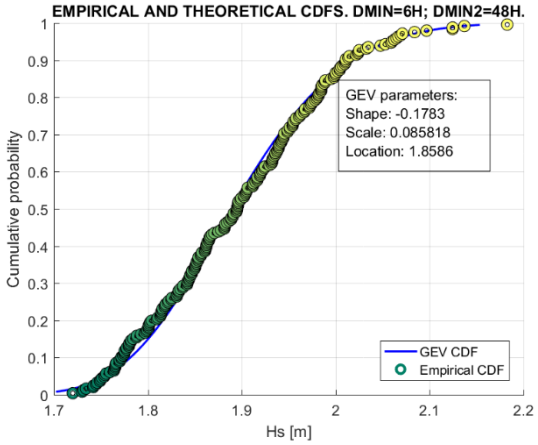


Figura 52. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P12 (izquierda) y P13 (derecha). Profundidad 5 m.

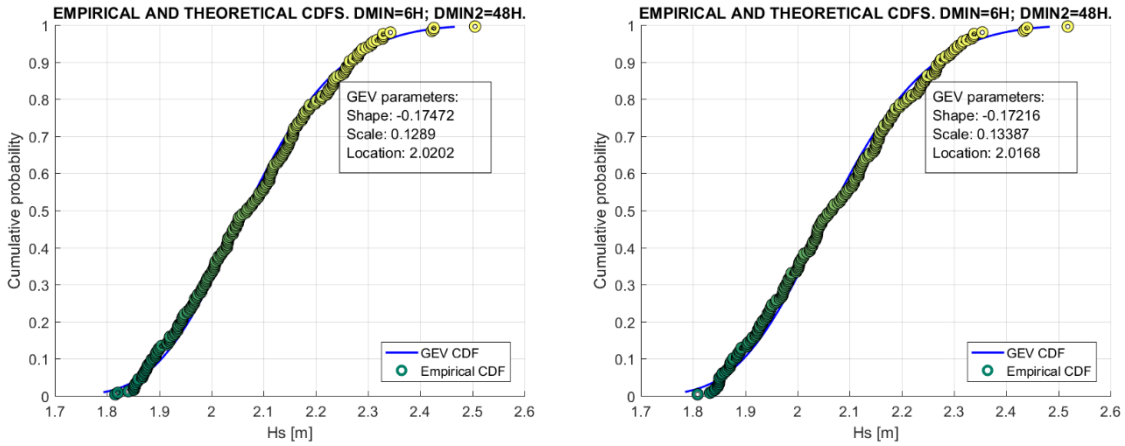


Figura 53. Función de distribución en régimen extremal. Puntos P14 (izquierda) y P15 (derecha). Profundidad 5 m.

A partir del ajuste realizado con la GEV se realiza la extrapolación y se obtienen los valores representativos para el periodo de retorno de diseño (Tr=68 años) teniendo en cuenta el número de temporales por año (nt) y la función inversa

$$H_{s,Tr} = CdF^{-1}\left(1 - \frac{1}{nt \cdot Tr}\right)$$

Una vez conocidas las alturas de ola Hs, se obtienen los periodos medios Tz esperados ($E[Tz]$) a partir del ajuste por límites de peralte y los periodos de pico esperados ($E[Tp]$) por el ajuste lineal, ambos procedimientos recogidos en el anejo de clima marítimo. Como se puede observar, en los puntos de control situados en las zonas de difracción (P1, P3, P5 y P7), a la profundidad de 3 m, el valor de la altura de diseño Hsd toma valores aproximadamente entre 1.7 m y 2 m. Se aprecia el gradiente de altura de ola producido a lo largo del frente, debido a la presencia de los espigones.

ANÁLISIS ESCALAR				
Punto	**Prof [m]**	**Hsd**	**E[Tz] [s]**	**E[Tp] [s]**
P1	3	1.93	4.97	7.39
P2	3	1.70	4.67	7.01
P3	3	1.97	5.02	7.45
P4	3	1.67	4.63	6.97
P5	3	1.76	4.74	7.11
P6	3	1.67	4.62	6.96
P7	3	1.75	4.74	7.10
P8	4	2.22	5.33	7.83
P9	4	2.20	5.31	7.80
P10	4	2.21	5.32	7.81

ANÁLISIS ESCALAR				
Punto	**Prof [m]**	**Hsd**	**E[Tz] [s]**	**E[Tp] [s]**
P11	4	2.16	5.26	7.75
P12	5	2.54	5.71	8.29
P13	5	2.52	5.68	8.25
P14	5	2.48	5.64	8.20
P15	5	2.50	5.66	8.23

Tabla 12.-. Valores de diseño en régimen extremal escalar en los puntos de control a pie de playa.

En la Tabla 13 se recogen los valores de diseño para los puntos de control en el análisis direccional para la dirección de mayor probabilidad de ocurrencia. Es necesario destacar que, en el caso del punto de control P5 (situado en zona de difracción), el sector de mayor probabilidad de ocurrencia es el ESE aunque el sector que presenta oleajes más energéticos es el E.

ANÁLISIS DIRECCIONAL					
Punto	Dirección	Prof [m]	Hsd [m]	**E[Tz] [s]**	**E[Tp] [s]**
P1	ESE	3	1.93	4.97	7.39
P2	ESE	3	1.73	4.71	7.06
P3	ESE	3	1.97	5.02	7.45
P4	ESE	3	1.71	4.68	7.03
P5	ESE	3	1.64	4.58	6.91
P6	ESE	3	1.70	4.67	7.01
P7	ESE	3	1.78	4.78	7.15
P8	E	4	2.21	5.32	7.81
P9	E	4	2.20	5.31	7.80
P10	ESE	4	2.23	5.34	7.84
P11	ESE	4	2.18	5.28	7.77
P12	E	5	2.52	5.68	8.26
P13	E	5	2.47	5.62	8.19
P14	E	5	2.42	5.57	8.12
P15	E	5	2.44	5.59	8.15

Tabla 13.-. Valores de diseño en régimen extremal direccional en los puntos de control a pie de playa.

Los valores obtenidos en régimen medio y en régimen extremal son de gran relevancia para el estudio de la dinámica litoral, así como para el estudio de alternativas, como se desarrollará en los sucesivos anejos.

6. RESUMEN DE PRINCIPALES ESTADÍSTICOS OBTENIDOS

A continuación se detallan los principales estadísticos y valores de diseño obtenidos tras la propagación de oleaje, detallados para cada punto de control y promediados también por secciones de la playa de estudio.

Punto	Prof [m]	Hs12 [m]	Hs12 promed [m]	Hsd [m]	Hsd promed [m]
P1	3	2.34	2.18	1.93	1.78
P2	3	2.25		1.70	
P3	3	2.36		1.97	
P4	3	2.19		1.67	
P5	3	1.89		1.76	
P6	3	2.10		1.67	
P7	3	2.15		1.75	
P8	4	2.34	2.33	2.22	2.20
P9	4	2.36		2.20	
P10	4	2.33		2.21	
P11	4	2.29		2.16	
P12	5	2.35	2.34	2.54	2.51
P13	5	2.36		2.52	
P14	5	2.34		2.48	
P15	5	2.32		2.50	

Tabla 14.-. Principales estadísticos en régimen escalar en los puntos de control a pie de playa.

La Figura 54 muestra los puntos de control y las secciones consideradas para la evaluación del valor promedio de los estadísticos.

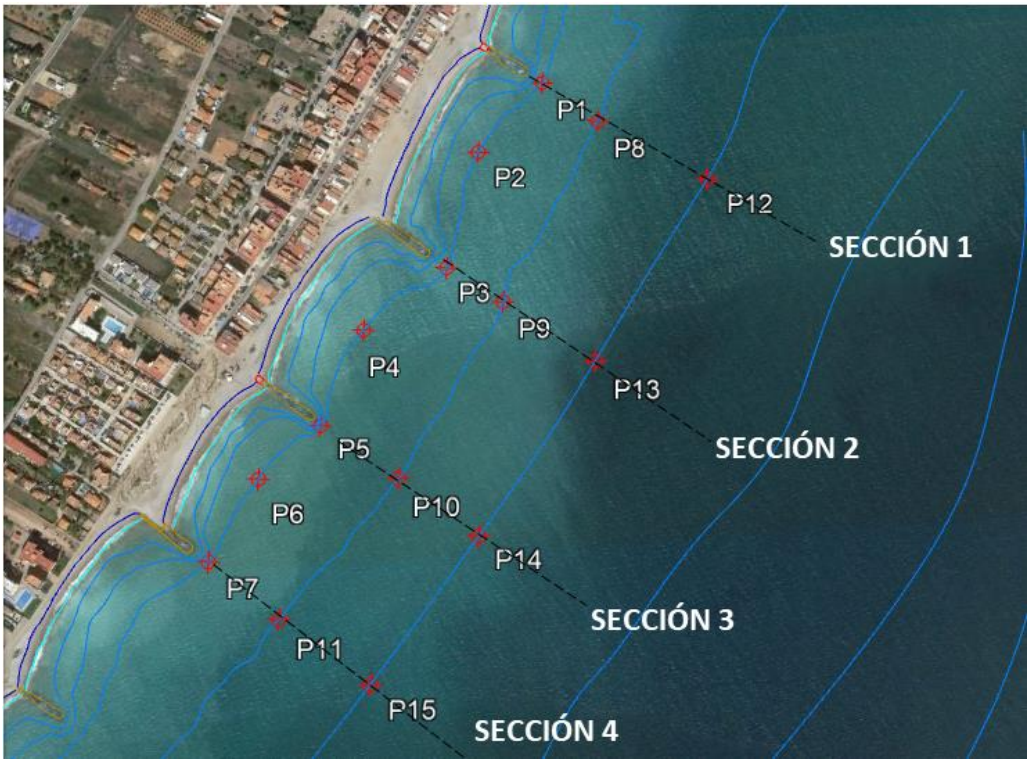


Figura 54. Localización de los puntos de control y secciones a pie de playa para valores representativos.

Sección	Puntos	Hs12 promedio	Hsd promedio
1	P1, P8, P12	2.34	2.23
2	P3, P9, P13	2.36	2.23
3	P5, P10, P14	2.18	2.15
4	P7, P11, P15	2.25	2.15

Tabla 15.-. Valores promedio por secciones de los principales estadísticos a pie de playa.

2.6.- Dinámica litoral.

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se realiza un estudio básico de la dinámica litoral de la zona de actuación del proyecto, abarcándose los siguientes aspectos:

- Situación de la unidad fisiográfica.
- Flujo medio de energía.
- Formas de equilibrio, en planta y en perfil, del tramo afectado.
- Estudio de la capacidad de transporte litoral.

2. UNIDAD FISIOGRÁFICA

La zona de estudio está encuadrada en la unidad fisiográfica denominada Unidad Fisiográfica Sur examinada en el estudio del CEDEX denominado Estrategia de actuación del tramo de costa comprendido entre el Puerto de Castellón y el Puerto de Sagunto (Castellón Sur), y cuya alternativa básica de solución se desarrollará en estos trabajos.

En dicho estudio el tramo de costa de la provincia está formada por dos grandes unidades fisiográficas, o sistemas litorales, que se encuentran limitados por los tres grandes puertos: Castellón, Burriana y Sagunto. Estas unidades se las ha denominado Unidad Fisiográfica Norte (entre los puertos de Castellón y Burriana) y Unidad Fisiográfica Sur (entre los puertos de Burriana y Sagunto).

Dentro de cada una de las unidades fisiográficas anteriores existen subunidades que tienen la característica de tener una dinámica litoral similar. Estas subunidades son:

1 - Unidad Fisiográfica Norte (entre los puertos de Castellón y Burriana)

1.1- Puerto de Castellón-río Mijares

1.2- Río Mijares-puerto de Burriana

2 - Unidad Fisiográfica Sur (entre los puertos de Burriana y Sagunto)

2.1- Puerto de Burriana-playa de Casablanca (Almenara)

2.2- Playa de Casablanca (Almenara)-puerto de Canet de Berenguer

2.3- Puerto de Canet de Berenguer-puerto de Sagunto

Nuestra zona de estudio, la playa Les Marines se encuadra en el término municipal de Nules, dentro de la subunidad 2.1 Puerto de Burriana-playa de Casablanca (Almenara). Nules es la transición de un tramo totalmente rigidizado por un dique de escollera longitudinal y playas entre espigones, de tal forma que el tramo más norte goza de ambas protecciones.

Figura 1. Zonificación de la costa entre los puertos de Castellón y Sagunto. Fuente: doc. CEDEX clave 22-414-5-002.

3. FLUJO MEDIO DE ENERGÍA

Con el propósito de analizar la forma en planta de equilibrio que debería adoptar la orilla en el tramo de estudio, así como valorar el transporte longitudinal potencial debido a la incidencia oblicua del oleaje incidente, se determina el valor del flujo medio de energía en los puntos de control. Estos puntos de control son aquellos en los que ya se obtuvo el régimen medio y extremal de oleaje tras la propagación de oleaje (véase anejo correspondiente a las propagaciones de oleaje).

Figura 2. Localización de los puntos de control para la propagación hasta pie de playa.

La siguiente tabla indica las coordenadas UTM y la profundidad a la que se encuentran los puntos.

Punto Control	Xutm	Yutm	Profundidad [m]
P1	747399.03	4412373.93	3
P2	747327.71	4412286.38	
P3	747299.32	4412145.5	
P4	747206.81	4412068.5	
P5	747164.57	4411954.87	
P6	747097.37	4411890.84	
P7	747047.63	4411794.36	
P8	747467.14	4412328.95	4
P9	747368.16	4412107.45	
P10	747259.34	4411897.08	
P11	747133.64	4411731.72	
P12	747601.35	4412262.68	5
P13	747479.35	4412040.5	
P14	747355.95	4411833.4	
P15	747243.13	4411662.57	

Tabla 1.- Puntos de control (coordenadas y profundidad) para las propagaciones hasta pie de playa.

Para obtener el flujo medio de energía se realiza la suma vectorial del valor del flujo de energía del oleaje generado por cada uno de los estados de mar en estos puntos, para así obtener la dirección del flujo medio de la energía representativa del oleaje dominante que modelará la costa.

La formulación para obtener este parámetro parte de la relación de la energía del oleaje $E = \frac{1}{8}\rho g H^2$ con la celeridad de grupo Cg , siendo el módulo del flujo de energía

$$F = \frac{1}{8}\rho g H^2 Cg$$

Y a partir del cual, con el ángulo de incidencia θ_j de cada estado de mar j, se puede obtener la composición vectorial del flujo de energía:

$$(Fx, Fy) = \left(\sum_j F_j \cos(\theta_j), \sum_j F_j \sin(\theta_j)\right)$$

resultando la dirección del flujo medio de energía

$$\beta = \operatorname{atan} \frac{\sum_j F_j \cos(\theta_j)}{\sum_j F_j \sin(\theta_j)}$$

A continuación se muestran los valores obtenidos y su representación gráfica.

Punto Control	FME ($\boldsymbol{\beta}$ [º])	Profundidad [m]
P1	106.9	3
P2	107.4	
P3	107.2	
P4	108.6	
P5	110.8	
P6	109.4	
P7	110.3	
P8	105.7	4
P9	106.2	
P10	107.6	
P11	107.6	
P12	105.0	5
P13	105.4	
P14	106.3	
P15	106.1	

Tabla 2.- Valores del flujo medio de energía en los puntos de control.

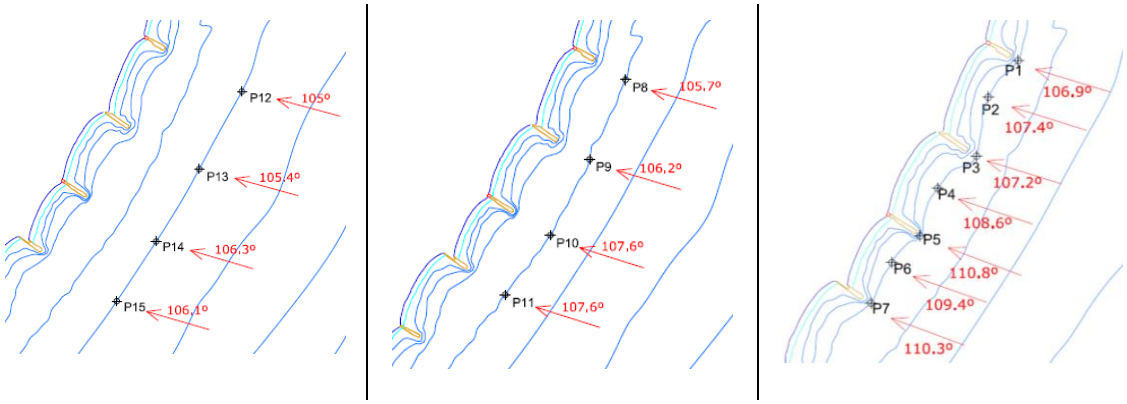


Figura 3. Representación gráfica del flujo medio de energía en los puntos de control.

El ángulo entre la dirección del flujo medio de energía y la dirección normal a la costa proporciona información acerca de cómo evolucionará la línea de orilla y de la magnitud del transporte longitudinal, de manera que los oleajes que abordan la costa de manera casi perpendicular a la costa determinarán un transporte potencial reducido y, por tanto, una situación próxima a la de equilibrio en planta de la costa.

En la situación actual, la dirección de flujo medio de energía tiende a incrementar su valor de norte a sur, presentándose así un pequeño gradiente entre el ángulo del flujo medio de energía entre la zona norte y la zona sur, que se hace más evidente en las proximidades de la línea de playa, en los puntos de control a 3 m de profundidad.

4. FORMAS DE EQUILIBRIO EN PLANTA Y EN PERFIL

4.1 PERFIL TRANSVERSAL

4.1.1 PERFIL DE PLAYA EN LA SITUACIÓN ACTUAL

A partir de la batimetría de detalle realizada en el año 2018 se han tomado tres perfiles medios (PF1, PF2 y PF3) correspondientes a las tres celdas litorales del tramo de estudio (Figura 4) y se han representado de forma conjunta.

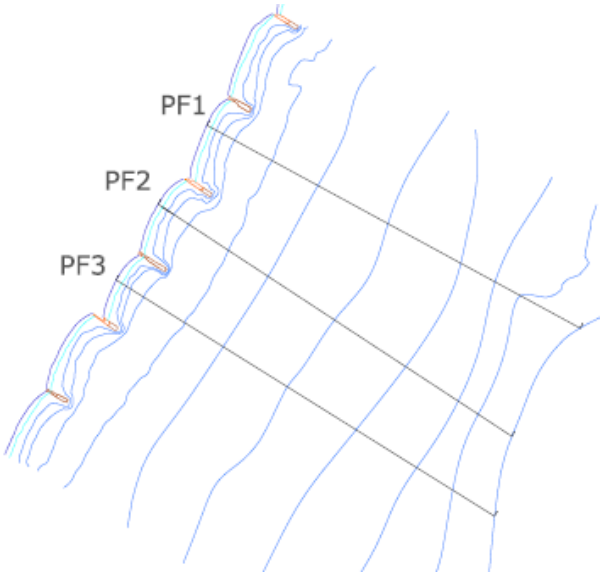


Figura 4. Perfiles de playa medidos (PF1, PF2 y PF3).

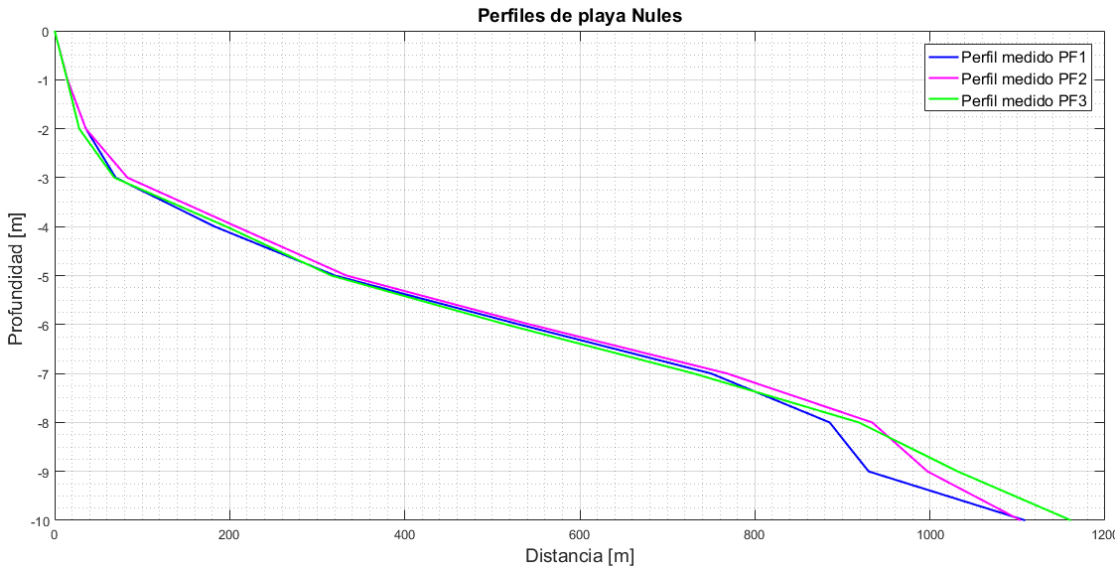


Figura 5. Perfiles medidos en el tramo de estudio

Se puede apreciar en la figura anterior que existe una variación de pendiente entre las profundidades 0 a – 2 m, entre -2 m y -5 m, y a partir de la profundidad – 5 m. La tabla recoge las pendientes medias obtenidas.

Pendiente media playa sumergida			
Perfil	Entre 0 y -2 m	Entre -2 y -5 m	Entre -5 y – 8 m
PF1	0.056	0.010	0.005
PF2	0.056	0.010	0.006
PF3	0.071	0.010	0.006

Tabla 3.-. Pendiente media de los perfiles sumergidos.

4.1.2 PERFIL DE EQUILIBRIO Y PROFUNDIDAD DE CIERRE

El perfil de equilibrio se puede definir como la morfología que alcanzará un perfil de playa, compuesto por un tamaño de grano determinado, al ser expuesto a unas condiciones de oleaje constantes. A partir de cierta profundidad el perfil ya no responderá activamente a las acciones del oleaje, definiéndose una profundidad a partir de la cual, el transporte de sedimentos transversal y longitudinal no tendrá una magnitud apreciable. Esta profundidad se conoce como profundidad de cierre h^* o límite del perfil activo, y puede ser estimada por la formulación de Birkemeier (1985):

$$h^* = 1.75H_{s12} - 57.9 * \left(\frac{H_{s12}^2}{gT_s^2}\right)$$

donde H_{s12} es la altura de ola significante local que es excedida 12 horas al año, T_s es su periodo de pico asociado y g es la gravedad. Esta expresión puede ser simplificada por $h^* = 1.57H_{s12}$ (Coastal Engineering Manual, 2002).

La Tabla 4 muestra los valores de H_{s12} a la profundidad de 5 m y las profundidades de cierre obtenidas. Se ha tomado el sector de dirección de procedencia E del oleaje por ser el más energético y por tanto, presentar mayores valores de altura de ola.

Punto	Hs12 [m]	h* Birkemeier [m]
P12	2.66	4.2
P13	2.68	4.2
P14	2.62	4.1
P15	2.65	4.2

Tabla 4.-. Hs12 y h* en los puntos de control a pie de playa.

Por lo que se deduce que en nuestra zona de actuación el valor de la profundidad de cierre es $h^* \sim 4.2\ m$.

La formulación más extendida para describir el perfil de playa teórico es la de Dean (1977), que tiene en cuenta el tamaño del material existente:

$$h = A_D x^{2/3}$$

donde h es la profundidad en m, x es la distancia a la línea de costa y A_D es el parámetro de Dean que depende de la velocidad de caída de grano y de un parámetro k dependiente del tamaño de grano. La formulación será válida hasta la profundidad de cierre anteriormente descrita.

Respecto a este perfil de equilibrio teórico, es necesario recalcar que en la zona de estudio los perfiles existentes son perfiles mixtos, caracterizados por diferentes tipos de sedimento y diferentes pendientes. En el tramo a menor profundidad (de 0 a -2 m) el sedimento son gravas y las pendientes son mayores y en el tramo activo de mayor profundidad (de -2 m a -5 m) las pendientes son menores y el sedimento es de tipo arenoso.

No obstante, como diámetro representativo de la playa a efectos comparativos, se toma el recogido en la Ecocartografía del litoral de la provincia de Castellón realizada por la empresa HIDTMA en el marco del Plan de Ecocartografías de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar. Este valor de diámetro es $D_{50} = 2.38\ mm$.

Debido a todo lo expuesto anteriormente, los perfiles teóricos de Dean para gravas y para arenas que se muestran son sólo con carácter orientativo y serán útiles para el posterior estudio de alternativas. Los diámetros considerados han sido los de las alternativas $D_{50} = 0.37\ mm$, $D_{50} = 5\ mm$ y el valor representativo de la playa $D_{50} = 2.38\ mm$.

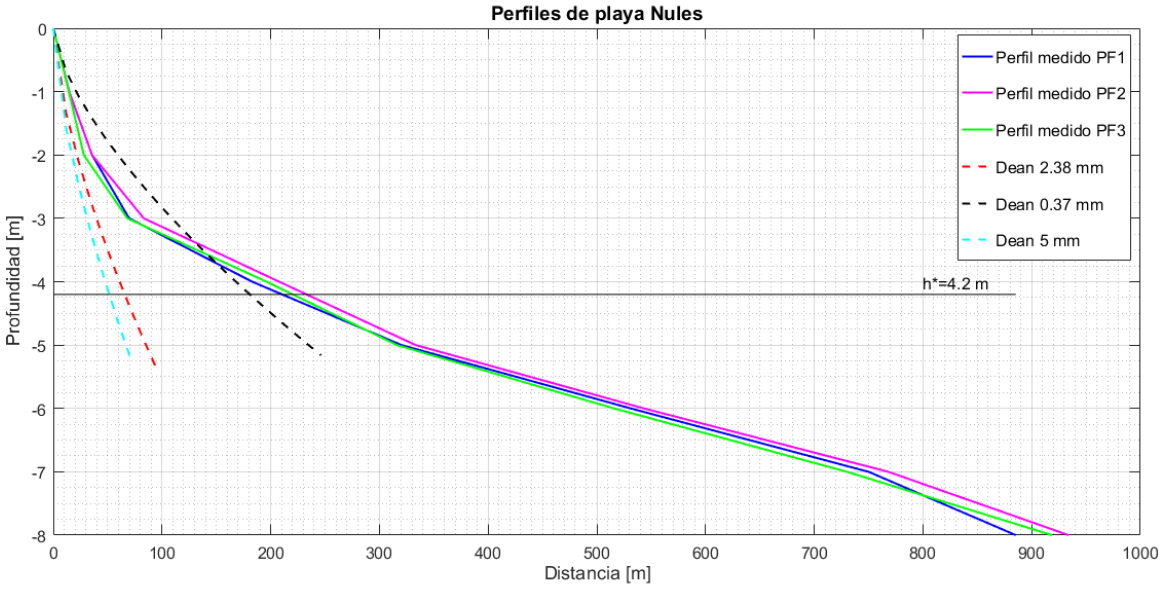


Figura 6. Perfiles medidos y perfiles de equilibrio Dean para diferentes diámetros de material. .

4.2 FORMA DE EQUILIBRIO EN PLANTA

4.2.1 METODOLOGÍA

Existen formulaciones empíricas que permiten estimar cuál es la forma en planta de playas ubicadas en la zona de sombra de un cabo o elemento de protección.

Hsu et al. (1989) propusieron para la forma en planta de una playa la expresión parabólica:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

Donde

- R es el radio vector tomado desde el punto de difracción, que define la forma de la playa.
- R_0 es el radio vector tomado desde el punto de difracción correspondiente al extremo no abrigado de la playa.
- C_0, C_1, C_2 son coeficientes dependientes de β
- β es el ángulo fijo formado entre el frente de oleaje y el radio vector R_0
- θ es el ángulo variable entre el frente de oleaje y el radio vector R.

González y Medina (2001) desarrollaron una metodología para el diseño de playas encajadas a partir de la formulación de Hsu. En el método desarrollado β es función de:

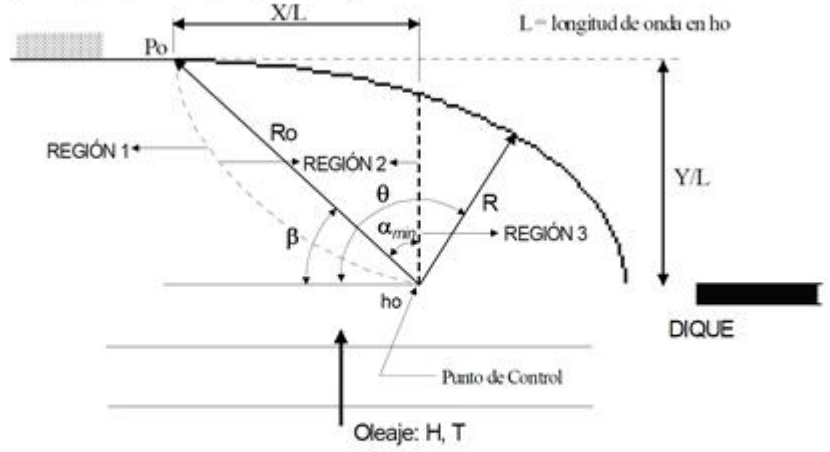
- El número de longitudes de onda o distancia adimensional que exista hasta la línea de costa (Y/L), siendo Y la distancia a la línea de costa y L la longitud de onda.
- La dirección del frente del oleaje, que corresponde con la dirección del flujo medio de energía en la zona del polo de difracción (punto de control). En la Figura 8 se muestra de forma resumida la metodología para obtener la forma en planta de equilibrio.

La forma en planta de una playa no es capaz de responder instantáneamente a los cambios de dirección del oleaje y tiende a ubicarse en una posición en equilibrio con las condiciones medias energéticas del oleaje. Consecuentemente, la dirección de los frentes que ha de utilizarse en el estudio de la forma en planta es la definida por el flujo medio anual de energía en el punto de control.

Los pasos fundamentales para aplicar la metodología de González y Medina (2001) son, por un lado, determinar el punto de control que genera la difracción del oleaje y, por otro, obtener la dirección del flujo medio de energía en este punto de control.

En el caso que no exista punto de difracción, o que éste no afecte a la playa, la alineación de la misma sería paralela al frente del oleaje que corresponde con la dirección del flujo medio de energía.

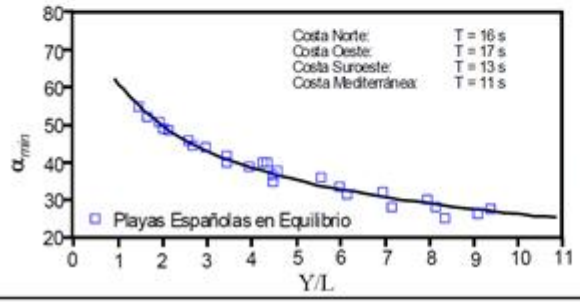
La forma en planta de equilibrio estático de una playa encajada puede ser representada por la expresión parabólica de Hsu y Evans (1989). En las Figuras y Tablas adjuntas se definen los parámetros necesarios de dicha formulación:



$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1\left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2\left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2$$

β	C_0	C_1	C_2
20	0.054	1.040	-0.094
22	0.054	1.053	-0.109
24	0.054	1.069	-0.125
26	0.052	1.088	-0.144
28	0.050	1.110	-0.164
30	0.046	1.136	-0.186
32	0.041	1.166	-0.210
34	0.034	1.199	-0.237
36	0.026	1.236	-0.265
38	0.015	1.277	-0.296
40	0.003	1.322	-0.328
42	-0.011	1.370	-0.362
44	-0.027	1.422	-0.398
46	-0.045	1.478	-0.435
48	-0.066	1.537	-0.473
50	-0.088	1.598	-0.512
52	-0.112	1.662	-0.552
54	-0.138	1.729	-0.592
56	-0.166	1.797	-0.632
58	-0.196	1.866	-0.671
60	-0.227	1.936	-0.710
62	-0.260	2.006	-0.746
64	-0.295	2.076	-0.781
66	-0.331	2.145	-0.813
68	-0.368	2.212	-0.842
70	-0.405	2.276	-0.867
72	-0.444	2.336	-0.888
74	-0.483	2.393	-0.903
76	-0.522	2.444	-0.912
78	-0.561	2.489	-0.915
80	-0.600	2.526	-0.910

El uso de dicha expresión para el diseño de playas puede ser realizado por medio de la metodología desarrollada por González (1995). Esta metodología propone que el ángulo, $\beta = 90° - \alpha_{min}$, está determinado por la distancia, (Y/L), entre la playa y el punto de control, pudiendo obtenerse los valores de $_{min}$de la Figura adjunta:



La dirección del oleaje que se ha de utilizar en la metodología, corresponde con el del flujo medio de energía que alcanza el punto de control, independientemente que la playa sea completa (llegue hasta Po) o no.

Figura 7. Metodología para la forma en planta de equilibrio estático en playas encajadas.

4.2.2 RESULTADOS

La forma en planta de las playas que se encuentran a la sombra de los elementos de difracción se ajustará con la formulación de la parábola de Hsu y, según concuerde o no la línea de costa con la línea de la parábola de equilibrio, podremos afirmar o no que la playa se encuentra en equilibrio estático.

En estos trabajos se ha empleado el módulo de Medio/largo plazo del Sistema de Modelado Costero que permite expresar de forma gráfica sobre imágenes o mallas de batimetría las plantas de equilibrio obtenidas mediante la formulación indicada.

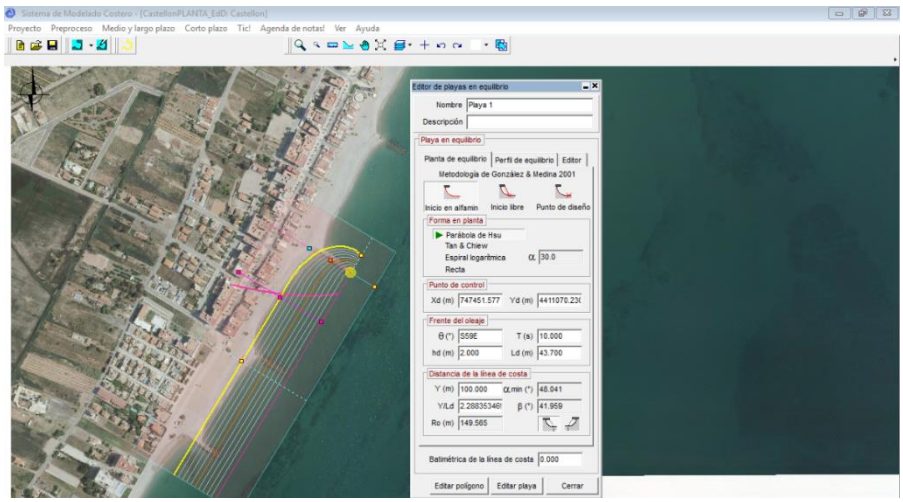


Figura 8. Vista de la pestaña de planta de equilibrio del Sistema de Modelado Costero.

Los valores que se han empleado para la definición en forma en planta se recogen en la Tabla 5, correspondientes al flujo medio de energía en el punto de control, con un periodo $T_s = 8.5\ s$.

	FME	FME	h* (m)	Distancia a costa Y (m)
Celda 1 - ESP1	107.4	S72.6E	4.2	57.0
Celda 2 - ESP2	108.6	S71.4E	4.2	75.0
Celda 3 -ESP 3	109.4	S70.6E	4.1	70.0

Tabla 5.-. Parámetros para definir la forma en planta en equilibrio mediante el módulo del SMC.

La visualización de la planta teórica de equilibrio estático se ha realizado mediante un análisis con ortofotos en el periodo de tiempo de 2005 al 2017 y mediante la batimetría actualizada en el año 2018.

En este punto es necesario recalcar que, aunque el estudio por ortofotos nos proporciona información valiosa sobre todo de la evolución de la línea de costa, hay que tener en cuenta que los vuelos no siempre se realizan en la misma época (invierno/verano) y que las restituciones no tienen

en cuenta ciertas correcciones. En cualquier caso, esta información nos permite definir a gran escala el comportamiento general de la línea de costa.

A continuación se muestran las diferentes ortofotos con las plantas de equilibrio estático obtenidas.

Figura 9. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Ortofoto PNOA 2005.

Figura 10. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Ortofoto PNOA 2007.

Figura 11. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Ortofoto PNOA 2009.

Figura 12. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Ortofoto PNOA 2012.

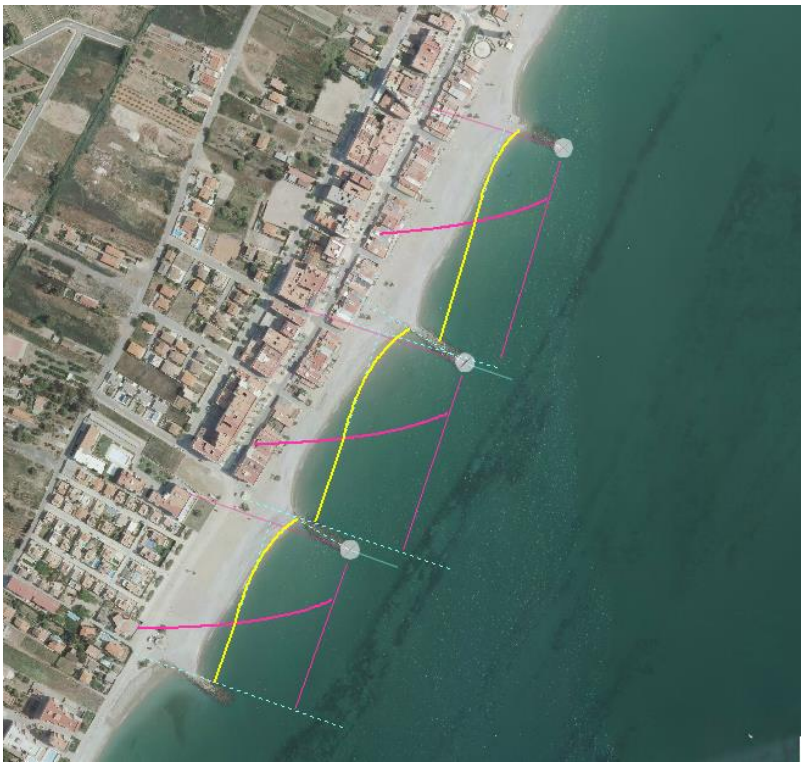


Figura 13. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Ortofoto PNOA 2015.

Figura 14. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Imagen Google Earth 2017.

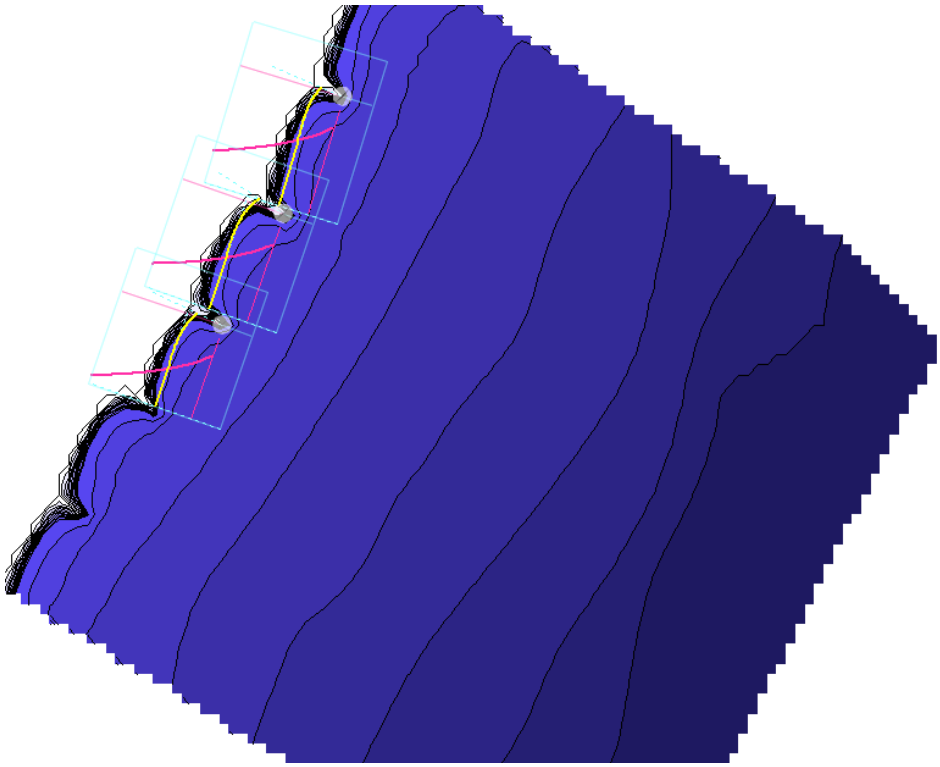


Figura 15. Planta de equilibrio en la zona de actuación. Batimetría 2018.

Como se puede observar, las figuras anteriores muestran importantes diferencias de las playas con respecto a su forma de equilibrio estático y, concretamente, la que parece que presenta mayor diferencia es la celda central (correspondiente a los nodos P3 a P5), lo cual concuerda con lo que se verá posteriormente, ya que en esta zona el transporte de sedimentos adquiere un valor algo más elevado que en el resto del tramo.

5. EVALUACIÓN DEL TRANSPORTE POTENCIAL

5.1 METODOLOGÍA

Los perfiles de playa en la zona de estudio corresponden a perfiles mixtos en los que existe variabilidad tanto en la pendiente del perfil a diferentes profundidades.

Para la evaluación de la tasa de transporte potencial longitudinal se aplicará la formulación de Kamphuis et al (1986), que según el estudio realizado por Van Wellen, Chadwick y Mason (2000) es la más adecuada para la aplicación con materiales gruesos. Entre las ventajas de la aplicación de esta formulación destaca que tiene en cuenta la pendiente del fondo y que es aplicable para un gran abanico de tamaños de sedimento (pues es apta para gravas y para arenas).

Esta formulación viene dada por la siguiente expresión:

$$Q = 1.28 \frac{\tan(\alpha) H_{sb}^{7/2}}{\rho_s (1-n) D_{50}} \sin(2\theta_b)$$

Donde:

- $tan\ \alpha$: es la pendiente del fondo en la zona de rompientes.
- H_{sb} *:* es la altura de ola significante del oleaje en rotura.
- θ_b *:* es el ángulo en rotura del oleaje con respecto a la orientación de la línea de costa.
- ρ_s *:* es la densidad del sedimento.
- n *:* es la porosidad del sedimento.
- D_{50}*:* es el tamaño de grano medio del sedimento.
- Q*:* es el transporte potencial de material en m³/s por metro lineal de costa.

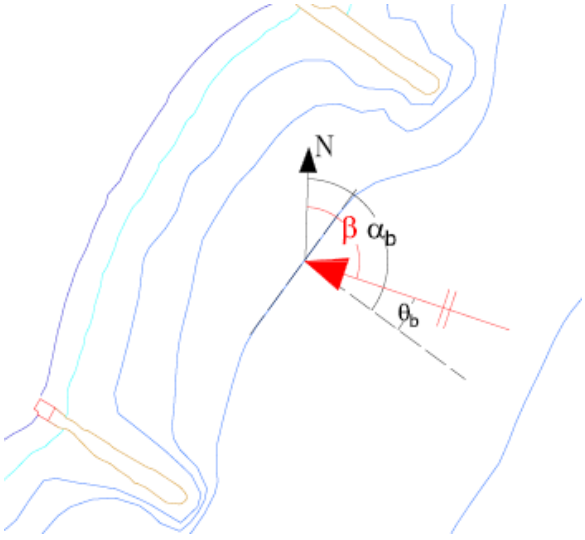


Figura 16. Relación de ángulos para el transporte longitudinal. (Fuente: elaboración propia).

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS TASAS DE TRANSPORTE

Para determinar la tasa de transporte potencial es necesario conocer la altura de ola significante en la zona de rompientes y el ángulo del oleaje en rotura con respecto a la alineación de la costa, como se ha expresado en la formulación de K. Como valores representativos de las condiciones medias de oleaje en la zona de rotura, se adoptan los valores de altura de ola significante $Hs50\%$ y los valores de flujo medio de energía obtenidos tras la propagación de oleaje en los puntos de control a profundidad 3 m.

El punto de control es el asociado a la localización del perfil transversal. La pendiente que se considera es la del tramo de -2 m a -5 m de profundidad que es donde se estima que se produce mayor movimiento de material. La alineación de la línea de costa se refiere a la orientación respecto al norte.

		Condiciones medias oleaje		Características playa		Ángulo entre alineaciones
Perfil	Punto Control	$H_{s50\%}$	FME (β)	Pendiente	Alineación costa (α_b)	θ_b
PF1	P2	0.60	107º4	0.01	119º	11º6
PF2	P4	0.59	108º6	0.01	124º	15º4
PF3	P6	0.57	109º4	0.01	122º	12°6

Tabla 6.-. Condiciones medias de oleaje en la zona de rompientes.

Con los datos anteriores y la formulación de Kamphuis expresada en el apartado anterior se han estimado las tasas medias anuales de transporte potencial longitudinal para diferentes tamaños de grano, que se recogen en la Tabla 7. En negrita se resaltan los valores obtenidos para los diámetros que se estudiarán en las alternativas y para el diámetro representativo de la playa.

	Tasas de Transporte Potencial (m^3/año)		
D50 [mm]	PF1	PF2	PF3
0.20	83,666	102,536	75,568
0.35	47,809	58,592	43,182
0.37	**45,225**	**55,425**	**40,847**
0.50	33,467	41,015	30,227
1.00	16,733	20,507	15,114
2.00	8,367	10,254	7,557
2.38	**7,031**	**8,616**	**6,350**
3.00	5,578	6,836	5,038
4.00	4,183	5,127	3,778
5.00	**3,347**	**4,101**	**3,023**
10.00	1,673	2,051	1,511

Tabla 7.-. Tasas estimadas de transporte potencial.

Tal y como se puede apreciar, es importante la dependencia que tiene la tasa de transporte potencial, para una misma pendiente de playa, respecto del diámetro del sedimento. La Figura 17 muestra las curvas de tasas de transporte obtenidas para los diferentes diámetros en las tres celdas litorales.

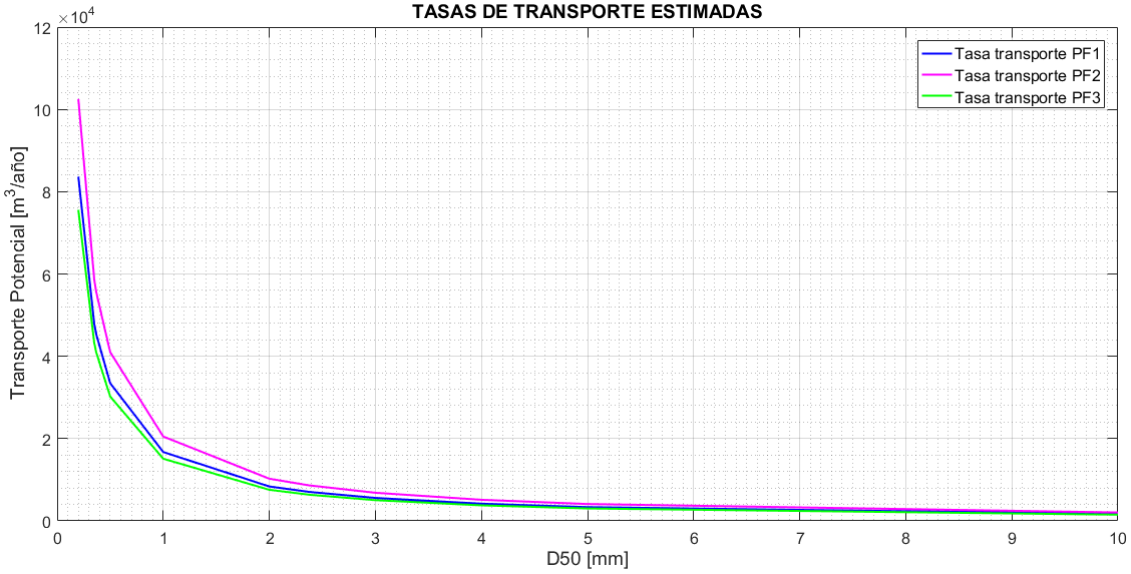


Figura 17. Curvas de tasa de transporte en función del tamaño D50.

A partir de los resultados obtenidos se pueden apuntar las siguientes conclusiones:

- El máximo ángulo entre la normal a la costa y la dirección del flujo medio de energía, θ_b, se produce en la celda correspondiente a PF2 (entre los nodos P3 y P5) con valor 15º6. Es en esta celda donde se produce el mayor desequilibrio de la línea de costa, con una tasa potencial de transporte de sedimento mayor. Por tanto, la celda sufrirá mayor erosión potencial, tal y como dejaban entrever las ortofotos presentadas en el estudio de la planta de equilibrio.
- La celda situada más al sur (correspondiente a PF3) presenta un ángulo $\theta_b$que supera al de la celda situada más al norte (correspondiente a PF1), pero sin embargo los menores valores de altura de ola que se presentan en ella ocasionan una tasa potencial de transporte menor, siendo ésta por tanto la que en menor medida sufriría la erosión.
- No obstante a lo anterior, y aunque resulta muy importante conocer el comportamiento dinámico de las celdas litorales, el valor de caudal de transporte no será decisivo para el estudio de alternativas, puesto que éstas se basarán en la rigidización de la playa y, por tanto, que el transporte sea nulo. Los condicionantes del estudio y dimensionamiento serán la orientación en equilibrio de la playa y el perfil de equilibrio según el material de aportación.

2.7.- Estudio de alternativas.

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se recoge el estudio de alternativas para la estabilización del tramo de costa de Les Marines. El escenario que se contempla para la estabilización es el de rigidización costera mediante estructuras de contención lateral que genere situaciones de equilibrio estático, es decir, de transporte nulo.

Los espigones a proyectar deberán tener la longitud suficiente para asegurar que no se produce la transferencia de material de una celda a la siguiente con la correcta contención del perfil de relleno. La aportación de sedimento se debe realizar teniendo en cuenta la forma en planta de equilibrio estático de la costa tras la ejecución de las estructuras.

La valoración de las alternativas se realizará tomando en consideración:

- La adecuación de las soluciones planteadas desde el punto de vista de la dinámica litoral, tanto para conseguir la estabilidad del tramo como para encajar la solución en el conjunto de estudios ya realizados.
- La adecuación de la solución desde el punto de vista del impacto ambiental, con especial atención a la fauna, flora, yacimientos arqueológicos y características físicas propias de la costa.
- La eficiencia económica.

2. CONDICIONES DE DISEÑO

2.1 BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Se proponen las siguientes opciones:

- Alternativa 1: construcción de dos espigones en L que agrupan las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora de material para la construcción de la playa que se genera entre ellos. El material de aportación será arena $D_{50} = 0.37\ mm$.
- Alternativa 2: construcción de dos espigones en L que agrupan las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora de material para la construcción de la playa que se genera entre ellos. El material de aportación será grava fina $D_{50} = 5\ mm$.
- Alternativa 3: construcción de dos espigones en L que agrupan dos de las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora de material para la construcción de la playa que se genera entre ellos y en la celda inmediatamente situada más al norte. El material de aportación será arena $D_{50} = 0.37\ mm$.
- Alternativa 4: construcción de dos espigones en L que agrupan dos de las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora del material en la playa que se genera entre ellos y

en la celda inmediatamente situada más al norte. El material de aportación será grava fina $D_{50} = 5\ mm$.

- Alternativa 5: construcción de dos espigones que agrupan las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora del material en la playa que se genera entre ellos. En esta opción el espigón norte se dispone con forma en L y el espigón sur recto, sin quiebro. El material de aportación será grava fina $D_{50} = 5\ mm$.
- Alternativa 6: construcción de dos espigones que agrupan dos de las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora del material en la playa que se genera entre ellos y en la celda que queda más al norte de la actuación. En esta opción el espigón norte se dispone con forma en L y el espigón sur recto, sin quiebro. El material de aportación será grava fina $D_{50} = 5\ mm$.
- Alternativa 7: construcción de dos espigones que agrupan dos de las tres celdas litorales de la zona de actuación y relleno y mejora del material en la playa que se genera entre ellos y en la celda que queda más al norte de la actuación. Además se prolonga el espigón situado inmediatamente más al norte del faro y se rellena y mejora la playa que se genera entre este espigón y el anterior. En esta opción el espigón central se dispone con forma en L y los espigones de los extremos se disponen rectos, sin quiebros. El material de aportación será grava fina $D_{50} = 5\ mm$.
- Alternativa 8: prolongación de los cuatro espigones existentes en el emplazamiento y mejora del material en las playas existentes con material de aportación de grava fina $D_{50} = 5\ mm$.

Las variantes de material van a determinar, de acuerdo al perfil teórico de equilibrio de Dean, la longitud mínima que deberán tener los espigones en cada una de las alternativas.

2.2 CONDICIONES DE DISEÑO

2.2.1 DISEÑO PRELIMINAR DE PLAYAS

Para el diseño en planta y en perfil de las playas se ha empleado el Sistema de Modelado Costero, que permite regenerar la batimetría a partir de la batimetría base y con las condiciones de diseño de las playas, tanto en planta como de material a emplear.

Para el diseño de la playa se considera una altura de berma final B=+3.00 m y una anchura mínima de playa seca de 30 m. El ancho final de la playa será el de la berma más el ancho del estrán necesario hasta la nueva línea de costa de diseño.

Los perfiles teóricos de Dean de playa de diseño según el material son los correspondientes a arena con $D_{50} = 0.37\ mm$ y grava fina con $D_{50} = 5\ mm$.

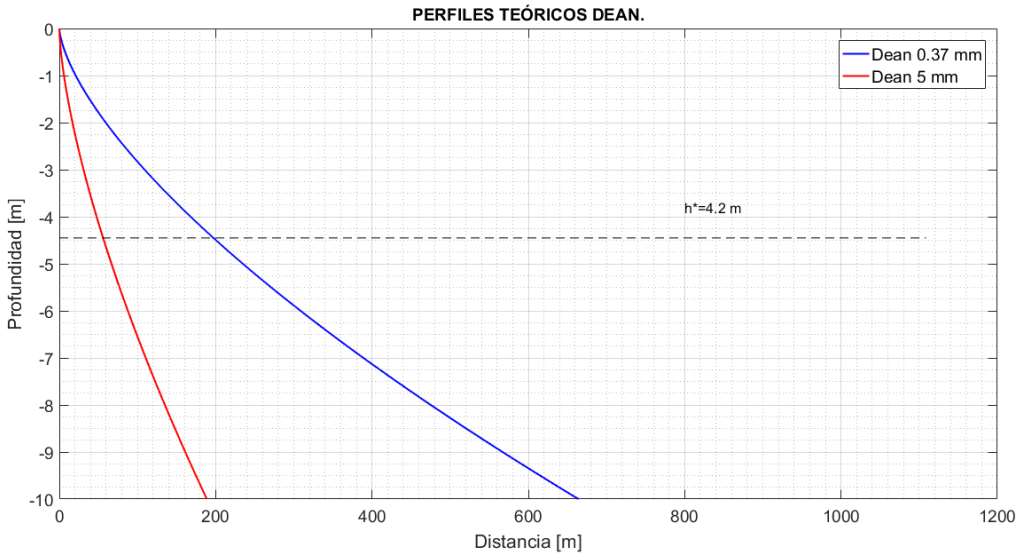


Figura 1. Perfiles teóricos de Dean para los materiales a estudiar.

Los datos obtenidos de la dinámica litoral para el diseño de la playa serán los que se recogen en la Tabla 1, junto con un periodo $T_s = 8.5\ s$ (las celdas están nombradas de norte a sur).

	FME	h* (m)
Celda 1	S72.6E	4.2
Celda 2	S71.4E	4.2
Celda 3	S70.6E	4.1

Tabla 1.-. Parámetros obtenidos por el estudio de dinámica litoral en cada celda litoral de la zona de actuación.

2.2.2 DISEÑO PRELIMINAR DE LAS ESTRUCTURAS

Para el diseño preliminar de los espigones se adopta una sección tipo con cota de coronación +1.00 m, anchura de coronación de 5 m y taludes 3H:2V.

Se aprovecharán las estructuras ya existentes prolongando los espigones y se retirará la escollera degradada de aquellas estructuras que quedan situadas en el interior de las playas de nuevo diseño.

De lo obtenido en el apartado anterior en referencia a los perfiles teóricos se deduce que, en las variantes en las que se considere como material arena con $D_{50} = 0.37\ mm$, la longitud mínima de los espigones para contener el material hasta la profundidad de cierre debería ser aproximadamente 200 m, mientras que en las variantes con material grava fina con $D_{50} = 5\ mm$, la longitud mínima aproximada sería 65 m.

3. ALTERNATIVAS PLANTEADAS

3.1 ALTERNATIVA 0

La alternativa 0 plantea la opción de no actuar dejando que la costa siga evolucionando según los parámetros de erosión actuales y el caudal de transporte estimado. Esta opción queda descartada por no resultar sostenible.

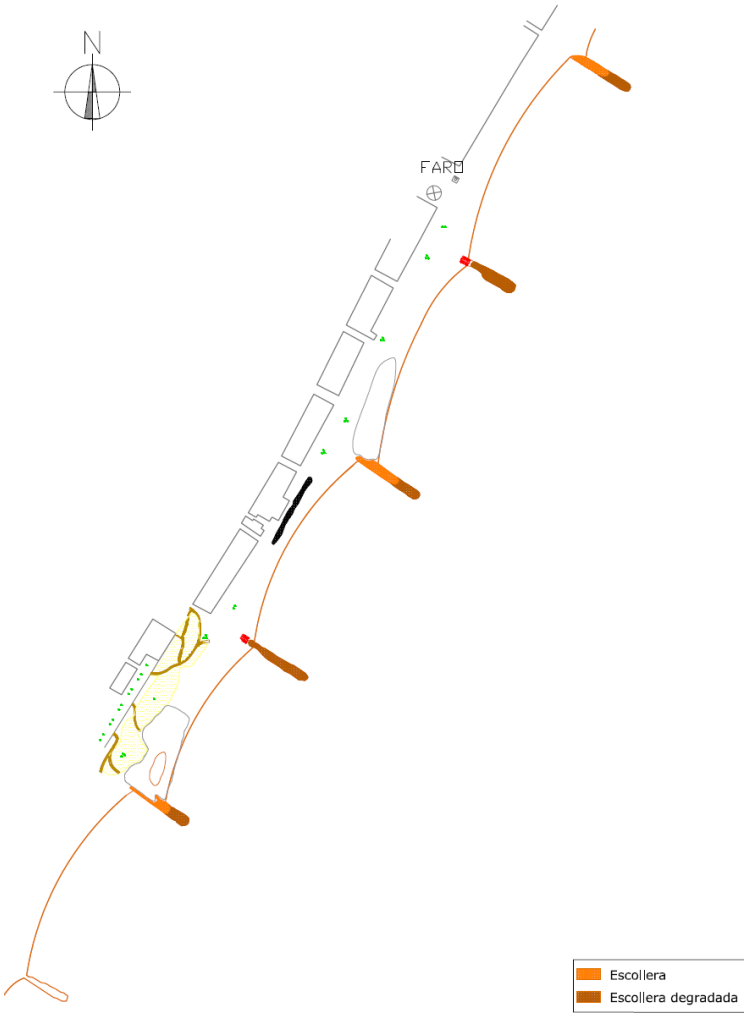


Figura 2. Vista esquemática de la situación actual (alternativa 0).

3.2 ALTERNATIVA 1

Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las tres celdas litorales de la zona de actuación y que el material a aportar sea arena con $D_{50} = 0.37\ mm$. Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Espigón al norte de la zona de actuación, con longitud recta de 190 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 350 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.

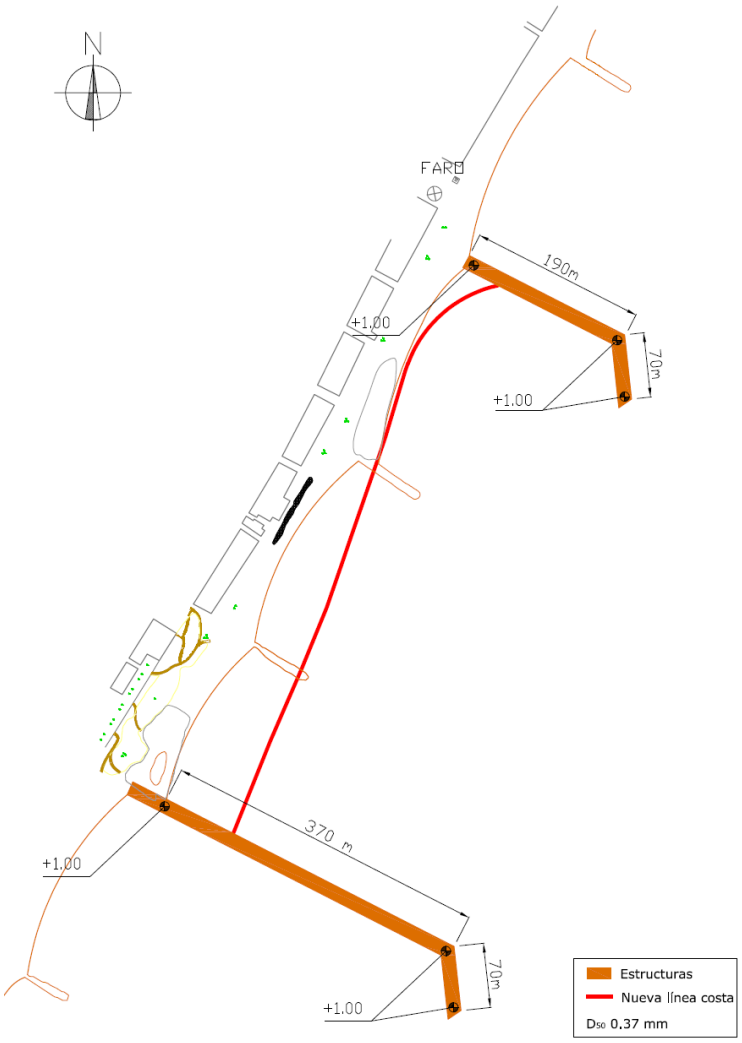


Figura 3. Vista esquemática de la alternativa 1.

3.3 ALTERNATIVA 2

Esta alternativa implica la opción geométrica de agrupar las tres celdas litorales de la zona de actuación y que el material a aportar sea grava fina con $D_{50} = 5\,mm$. Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Espigón al norte de la zona de actuación, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
- Espigón al sur de la zona de actuación, con longitud recta de 150 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.

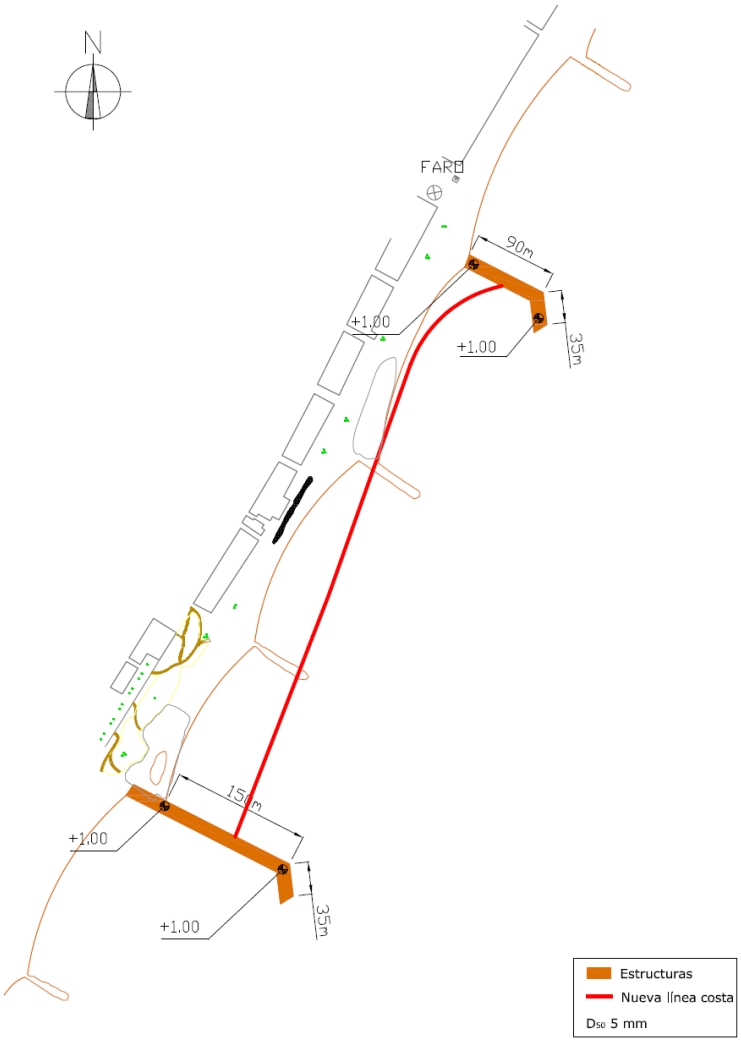


Figura 4. Vista esquemática de la alternativa 2.

3.4 ALTERNATIVA 3

Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las dos celdas litorales situadas al sur de la zona de actuación y que el material a aportar sea arena con $D_{50} = 0.37\,mm$. En esta alternativa, al agrupar dos celdas litorales, se proyectan dos playas a regenerar: la creada entre las estructuras de nueva construcción (playa principal) y la que se apoya en la nueva estructura situada más al norte (playa secundaria).

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 190 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 350 m y quiebro de 30º con 70 m de longitud.

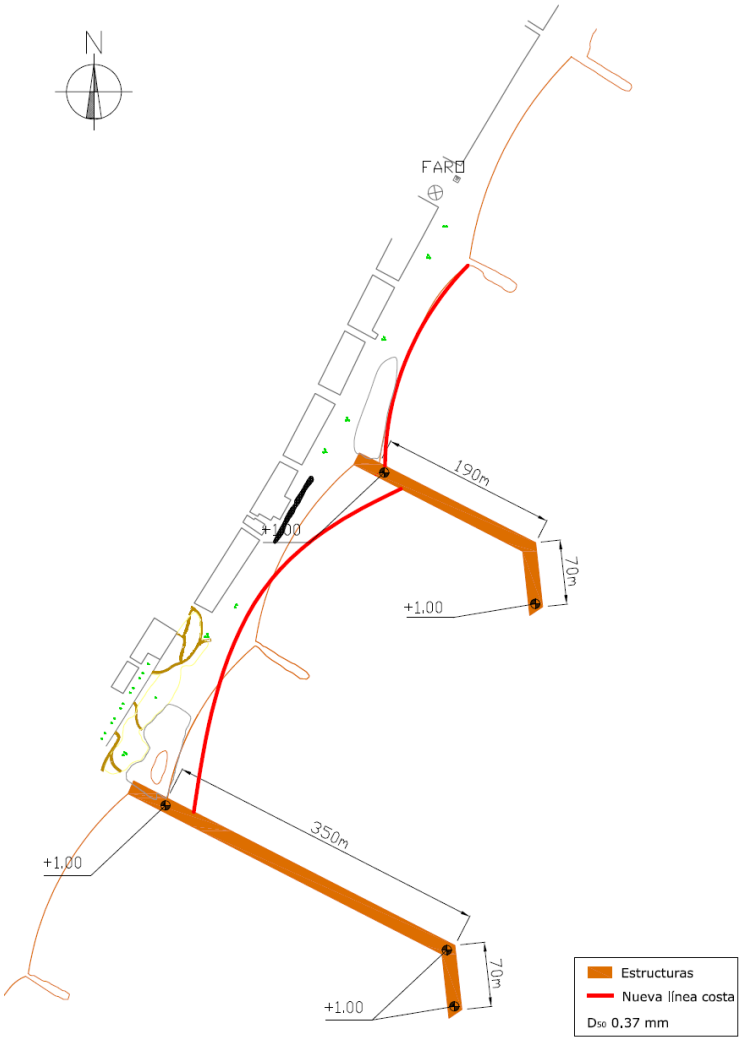


Figura 5. Vista esquemática de la alternativa 3.

3.5 ALTERNATIVA 4

Esta alternativa engloba la opción geométrica de agrupar las dos celdas litorales situadas al sur de la zona de actuación y que el material a aportar sea grava fina con $D_{50} = 5\ mm$. En esta alternativa, al agrupar dos celdas litorales, se proyectan dos playas a regenerar: la creada entre las estructuras de nueva construcción (playa principal) y la que se apoya en la nueva estructura situada más al norte (playa secundaria).

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 80 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 150 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.

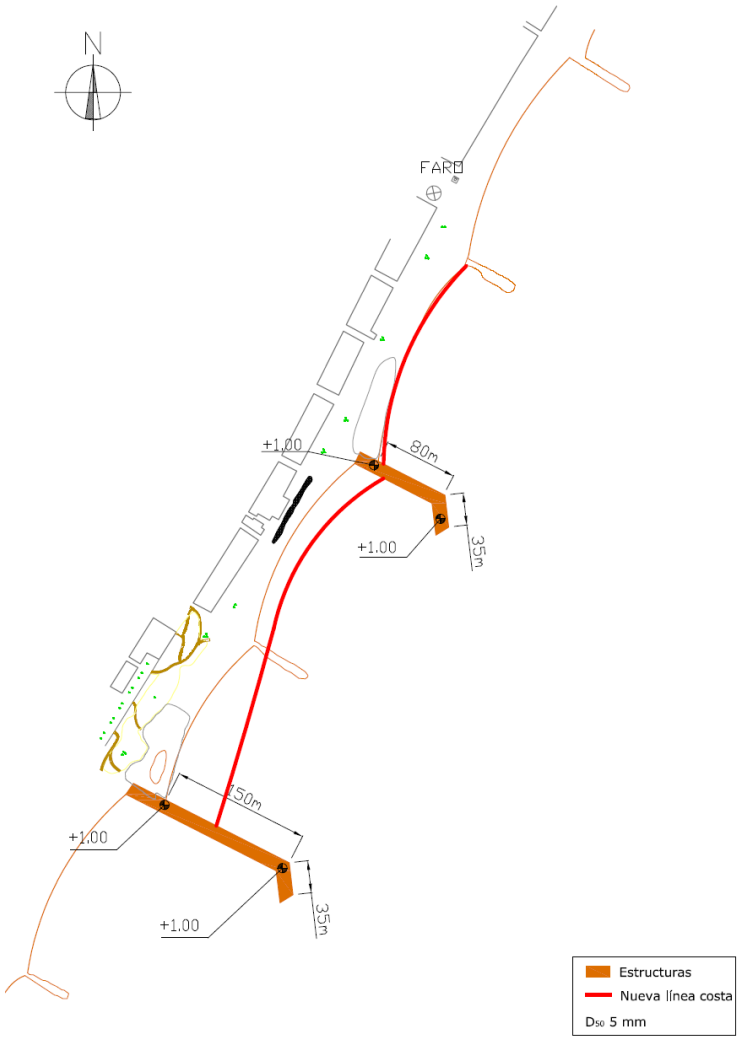


Figura 6. Vista esquemática de la alternativa 4.

3.6 ALTERNATIVA 5

Esta alternativa es análoga a la alternativa 2, que agrupa las tres celdas litorales situadas y que mejora el material con grava fina con $D_{50} = 5\ mm$, pero con el espigón recto al sur de la actuación:

- Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.

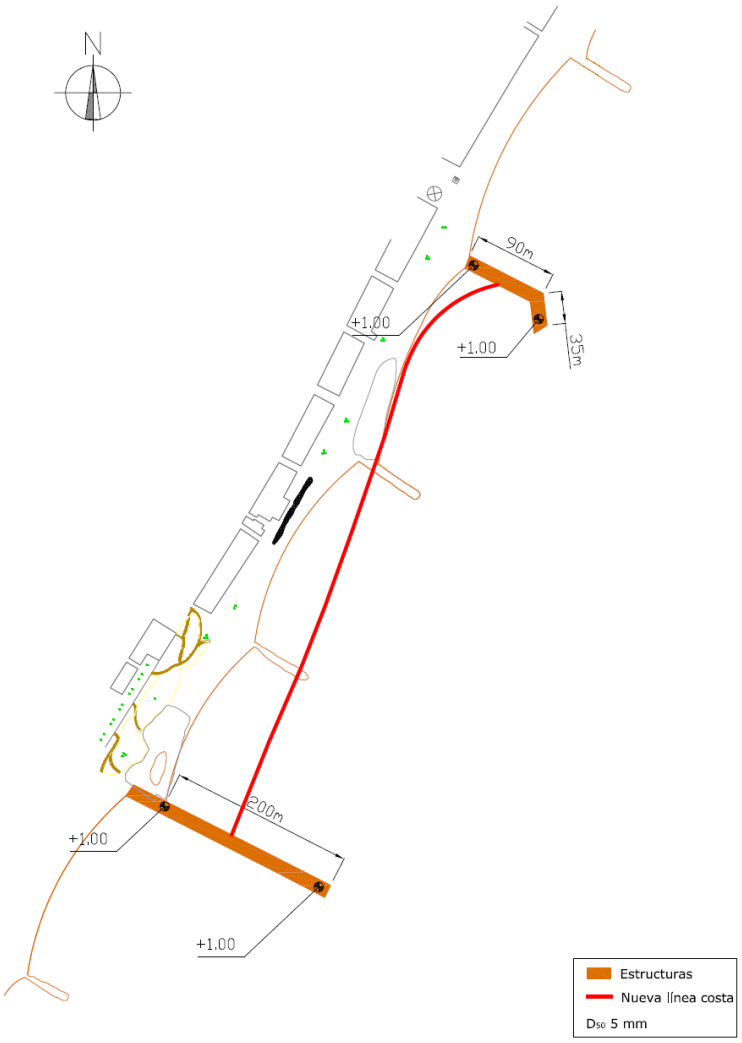


Figura 7. Vista esquemática de la alternativa 5.

3.7 ALTERNATIVA 6

Esta alternativa es análoga a la alternativa 4, que agrupa dos de las tres celdas litorales situadas y que mejora el material con grava fina con $D_{50} = 5\,mm$, pero con el espigón recto al sur de la actuación:

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Espigón al norte de la zona de actuación, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 80 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.

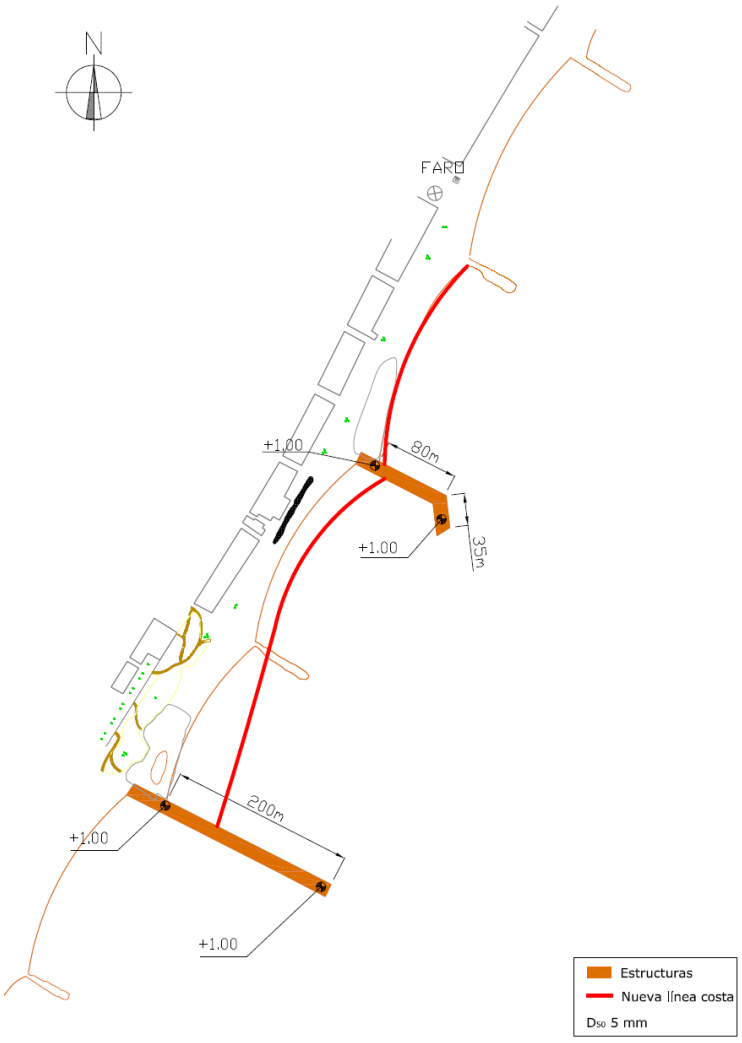


Figura 8. Vista esquemática de la alternativa 6.

3.8 ALTERNATIVA 7

Esta alternativa supone una mejora a la alternativa 6 puesto que realiza dos agrupaciones de celdas cada dos, mejorando el material con grava fina con $D_{50} = 5\ mm$ y prolongando también el espigón situado más al norte de la actuación.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes:

- Prolongación del espigón existente al norte del Faro de Nules.
- Espigón en el centro, agrupando las dos celdas litorales del sur, con longitud recta de 90 m y quiebro de 30º con 35 m de longitud.
- Espigón al sur de la actuación, con longitud recta de 200 m longitud.

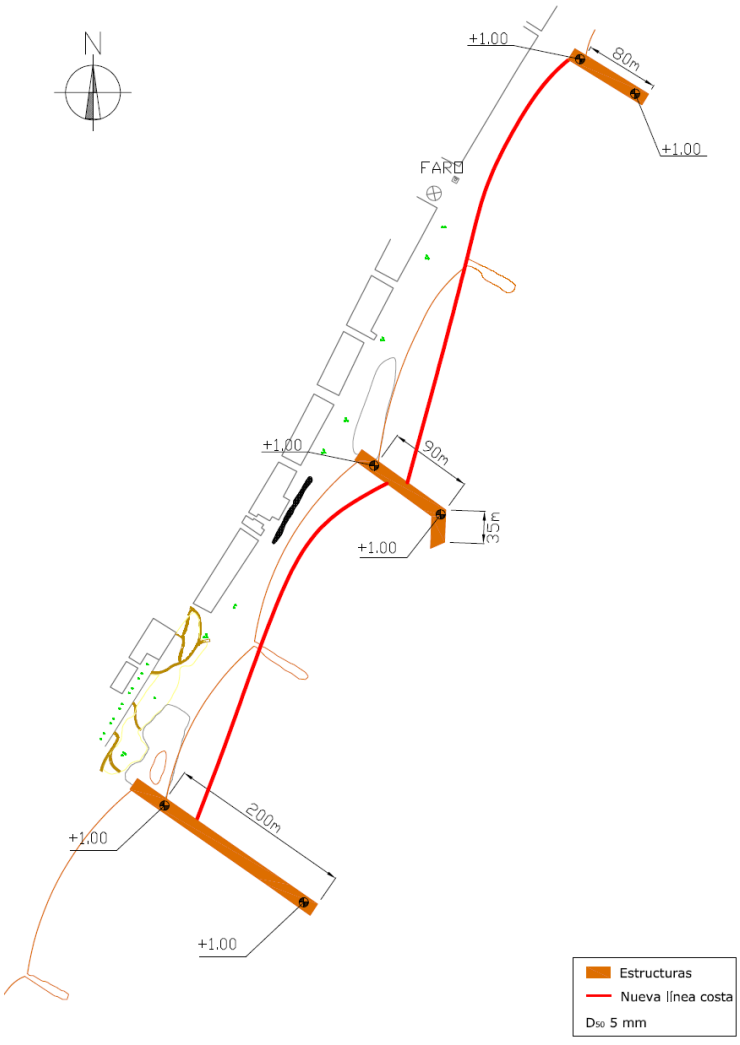


Figura 9. Vista esquemática de la alternativa 7.

3.9 ALTERNATIVA 8

La alternativa 8 es la que menor modificación realiza sobre la situación actual. Supone la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el material de grava fina de $D_{50} = 5\ mm$ y la regeneración de las playas existentes entre ellos. Se ha procurado ganar una superficie de playa análoga a la alternativa 7.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

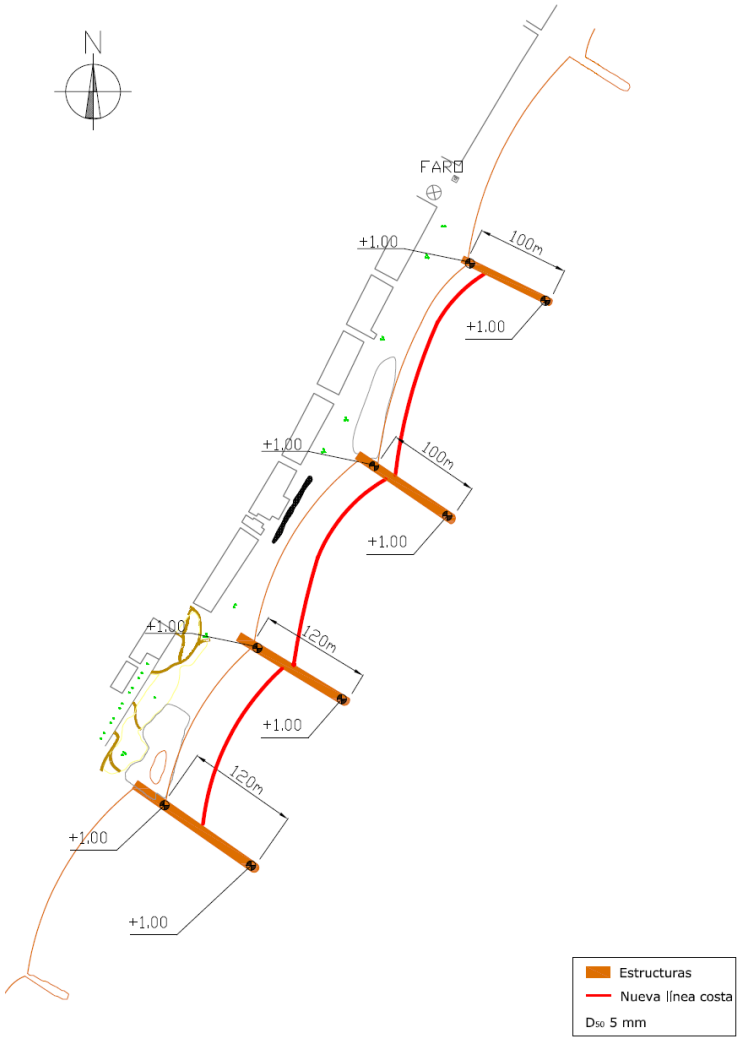


Figura 10. Vista esquemática de la alternativa 8.

3.10 DISEÑO DE NUEVA LÍNEA DE COSTA

El diseño de la nueva línea de costa se realiza mediante el Sistema de Modelado Costero (SMC), a partir de la batimetría de detalle y las características de dinámica litoral especificadas en el punto 2.2.1. Se muestran a continuación las imágenes extraídas del SMC de dicho diseño, para cada una de las alternativas estudiadas.

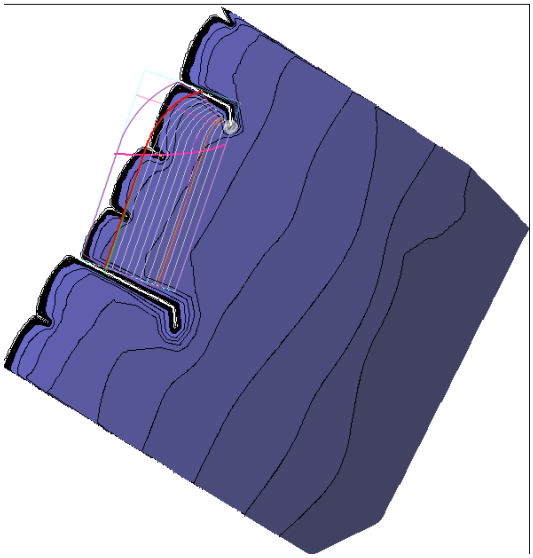


Figura 11. Diseño de playa de la alternativa 1.

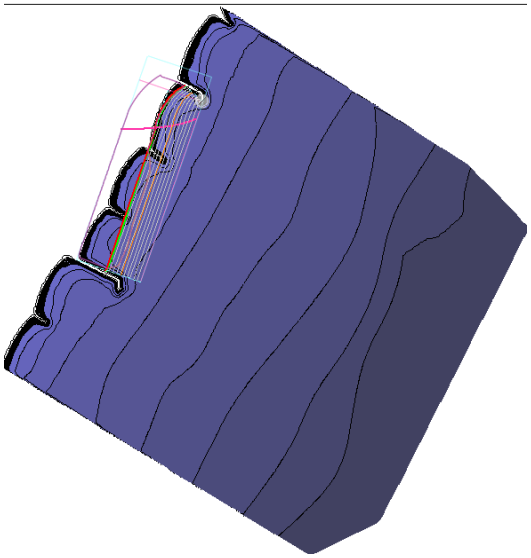


Figura 12. Diseño de la playa de la alternativa 2.

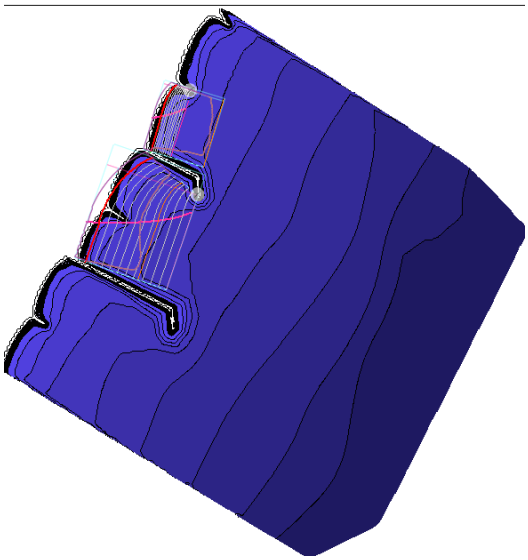


Figura 13. Diseño de playa de la alternativa 3.

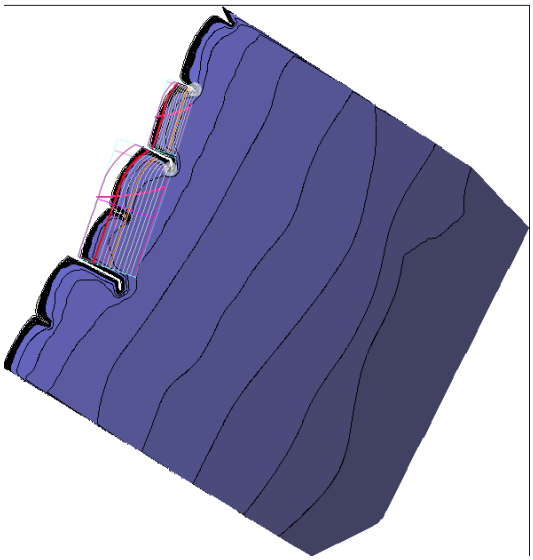


Figura 14. Diseño de la playa de la alternativa 4.

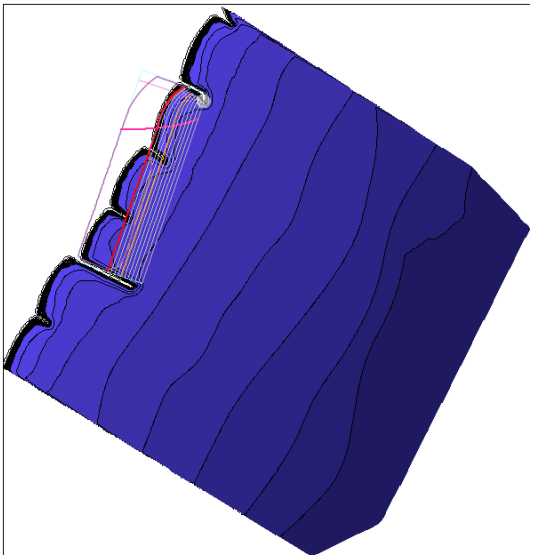


Figura 15. Diseño de playa de la alternativa 5.

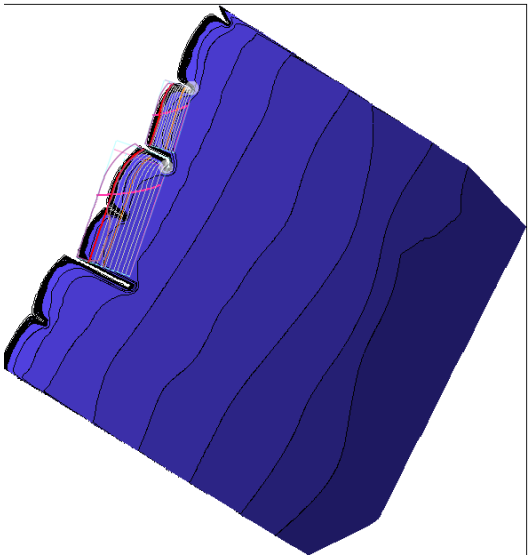


Figura 16. Diseño de la playa de la alternativa 6.

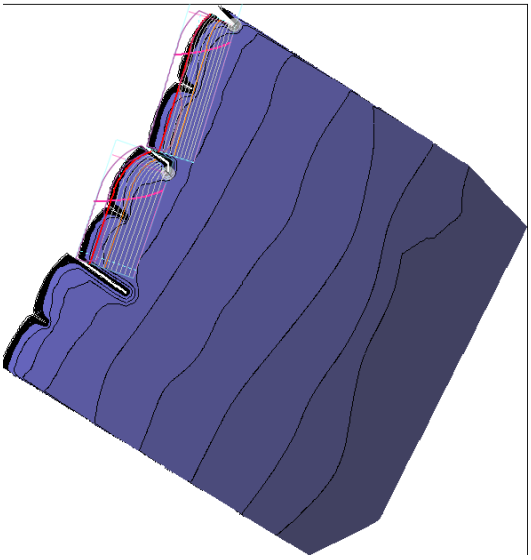


Figura 17. Diseño de playa de la alternativa 7.

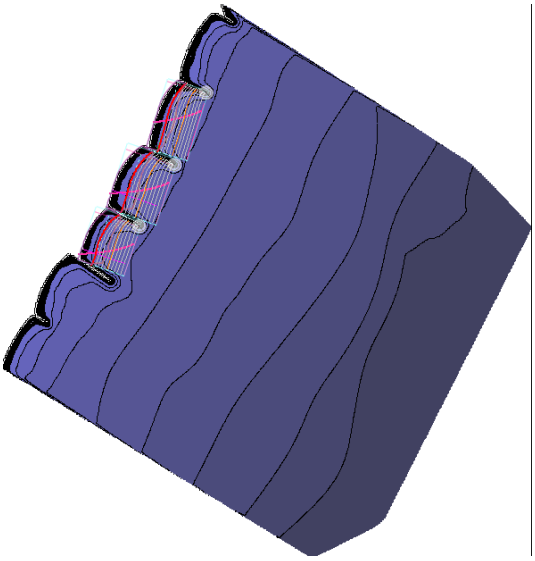


Figura 18. Diseño de playa de la alternativa 8.

3.11 VOLÚMENES OBTENIDOS

3.11.1 OBTENCIÓN DE VOLUMEN DE APORTACIÓN PARA PLAYA

Para estimar los volúmenes de aportación de material, se considera el perfil de equilibrio que correspondería con el sedimento de relleno disponible (según arenas o gravas) y se avanza con respecto al perfil de playa actual hasta que el ancho de playa ganado se corresponda con el ancho de playa a ganar.

En el estudio básico a nivel comparativo de alternativas se ha tomado una sección media en cada celda litoral. La situación de los perfiles reales tomados se muestra en la Figura 19.

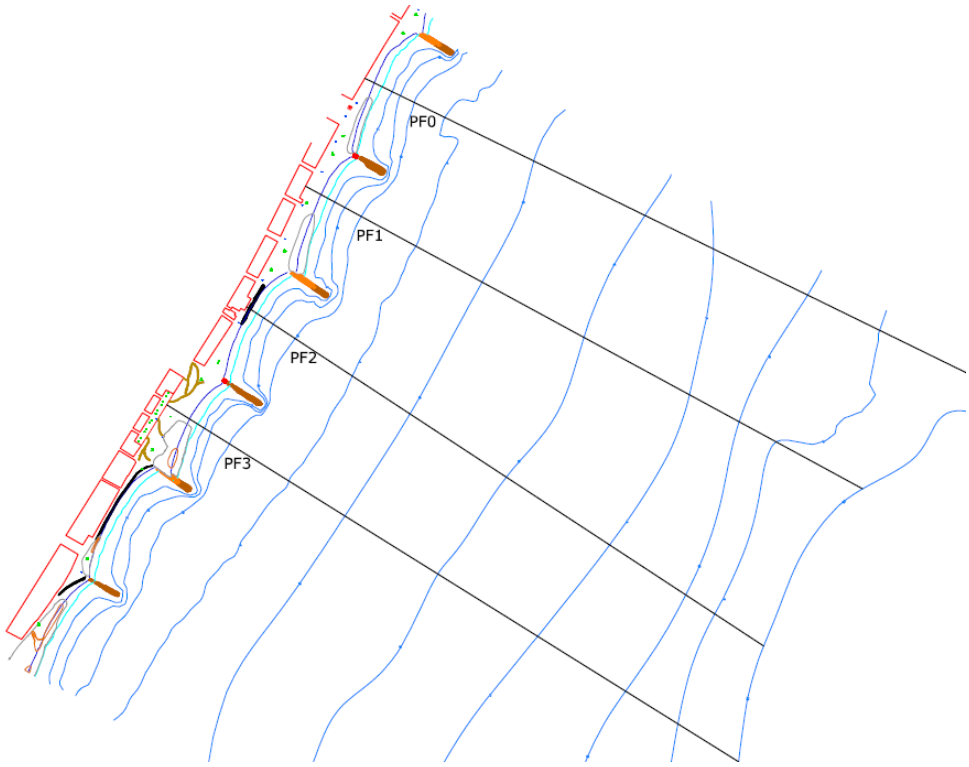


Figura 19. Situación de secciones medias tomadas (PF0 a PF3).

En la última sección del documento se adjuntan las figuras de los perfiles para cada una de las alternativas.

En el diseño se incluyen además dunas de arena natural, con una medición aproximada de $30\ m^3/ml$. En la celda litoral situada más al sur no se considera esta aportación de arena natural, puesto que ya se realizó una actuación de regeneración en la superficie de la berma, por lo que tampoco se consideran los trabajos de cribado y recolocación de material.

	Volumen $[m^3]$		
Alternativa	**Cribado y recolocación**	**Nueva aportación**	**Dunas**
1	0	234,224	15,000
2	76,483	119,437	15,000
3	0	151,627	15,000
4	57,968	67,776	15,000
5	76,483	119,437	15,000
6	57,968	67,776	15,000
7	110,914	79,222	22,200
8	60,085	76,600	15,000

Tabla 2.- Resumen de volúmenes estimados de material para regeneración de playa.

3.11.2 OBTENCIÓN DE VOLÚMENES DE ESCOLLERA PARA ESPIGONES Y DEMOLICIONES

Para estimar los volúmenes de escollera de nueva aportación se considera una sección tipo de anchura 5 m en coronación, talud uniforme 3H:2V y profundidad variable, y la longitud de nueva construcción de los espigones.

En las mediciones se considera el aprovechamiento de las estructuras existentes no degradadas.

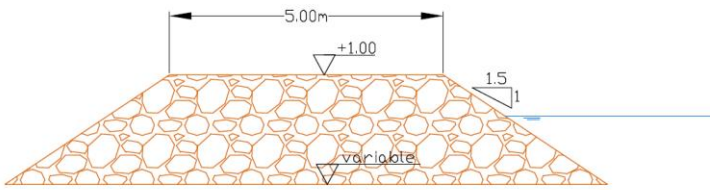


Figura 20. Sección tipo para espigones.

Se considera la retirada de la escollera degradada existente en todos los espigones de la zona de actuación, tomando, para el cálculo aproximado del volumen, el área obtenida de la topobatimetría y una profundidad media de 1.5 m.

	Volumen $[m^3]$	
Alternativa	**Nuevos espigones**	**Retirada escollera**
1	29,115	381
2	9,714	827
3	29,397	398
4	9,488	854
5	11,633	395

	Volumen $[m^3]$	
Alternativa	**Nuevos espigones**	**Retirada escollera**
6	11,071	381
7	12,235	827
8	10,692	0

Tabla 3.- Resumen de volúmenes estimados de material de escollera para espigones.

4. VALORACIÓN DE ALTERNATIVAS

4.1 CRITERIO TÉCNICO Y FUNCIONAL

Las alternativas de actuación tienen como función principal defender la costa de la acción conjunta del oleaje y las corrientes que erosionan el tramo de costa e imponer un transporte nulo en la zona de actuación.

Los factores determinantes para el correcto desempeño de esta función defensiva son la estabilidad y la efectividad de las protecciones planteadas, entendiéndose esta última como la capacidad de la alternativa para reducir la acción de los agentes erosivos y las consecuencias de su incidencia. Por otro lado, se entiende que una alternativa es mejor desde el punto de vista funcional si requiere un menor mantenimiento.

Con estas consideraciones, la alternativa 8, que es más rigidizada al mantener todos los espigones existentes, resulta más funcional. El resto de alternativas se valorarán de forma similar.

Este criterio tendrá un peso de 0.4 en el conjunto de la valoración.

4.2 CRITERIO AMBIENTAL

Las variables ambientales incluidas en el estudio que pueden verse afectadas por la acción de aquellos elementos asociados a cada propuesta de actuación son los siguientes:

(1) Calidad hidrológica

Para evaluar los potenciales efectos sobre la calidad hidrológica del medio afectado se han tenido en cuenta dos aspectos fundamentales: Las alteraciones en la calidad química de las aguas y el aumento de la turbidez.

En este sentido, tiene una repercusión medioambiental considerada como desfavorable la aportación de volumen de material arenoso ya que lleva asociado la generación de turbidez, frente a la aportación de gravas.

Las alternativas 1 y 3 consideran la aportación de arena, por lo que la turbidez generada, principalmente en la fase de obra es superior a la del resto de alternativas, que consideran grava como material de

aportación.

(2) Morfología costera o modificación de la forma en planta y perfil de la playa.
(3) Dinámica litoral a través de la modificación de la hidrodinámica y transporte de sedimentos.
(4) Afección a los espacios naturales protegidos así como a la flora y la fauna protegida.

Las alternativas que causan mayor impacto sobre la morfología costera y la dinámica litoral son aquellas que requieren un mayor volumen total de escollera, en lo que se refiere a la longitud necesaria. En este sentido, es menor la longitud de espigones en playas de grava (2, 4, 5, 6, 7 y 8) que en playas de arena.

En el siguiente cuadro se ha señalado el porcentaje en que se reduce volumen de material respecto de la alternativa para la que resulta máximo ese volumen (0%), ya sea de arena, de grava o de escollera.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Aporte arena	0%		-35%					
Aporte gravas		0%		-43%	0%	-43%	-34%	-36%
Nueva escollera	-1%	-67%	0%	-67%	-60%	-62%	-58%	-64%

Tabla 4.- Cuadro comparativo de necesidades de material.

Teniendo en cuenta lo anterior, de las alternativas con aporte de arenas (A1 y A3) la que menor cantidad de material requiere es la alternativa 3. Mientras que en las alternativas con aporte de gravas, las que menor cantidad de aporte requieren son las alternativas 4 y 6, seguida inmediatamente de la alternativa 8.

En lo que se refiere a aportación de escollera para construcción de espigones, la alternativa que menor volumen de material requiere son las alternativas 2 y 4, seguidas inmediatamente de la alternativa 8.

En el conjunto de la valoración, el peso dado a este criterio es de 0.2.

4.3 CRITERIO ESTÉTICO Y PAISAJÍSTICO

En el conjunto de la valoración, el peso dado a este criterio es de 0.2.

Las variables que se evalúan para obtener la valoración global de cada alternativa bajo el criterio paisajístico son la mejora de la calidad estética de las playas y la presencia de barreras visuales.

Desde este punto de vista, a priori se podrían considerar las alternativas de material de grava las más recomendables para la calidad visual, por ser las que menor longitud de estructuras requieren y por tanto menor impacto visual.

Sin embargo, también es un valor social a nivel de paisaje la presencia de espigones el tramo de costa que permiten a los usuarios un uso lúdico y recreativo. Es sabido que la existencia de espigones emergidos es valorada muy positivamente por la población por la sensación de seguridad que le aportan, no percibiendo “dureza” en ellas, sino más bien “abrigo”.

Por otro lado, factores positivos de las actuaciones, en cuanto a la mejora de la ordenación del frente litoral y su aspecto, son la ampliación del ancho de playa y la mejora de la forma en planta de la misma y el aprovechamiento de las estructuras existentes, que es óptima en la alternativa 8.

	Naturaleza	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Mejora calidad estética playas	+	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Severo	Severo
Barreras visuales	-	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo

Tabla 5.- Cuadro comparativo de mejoras estéticas.

4.4 CRITERIO ECONÓMICO

Para la valoración preliminar a nivel de estudio de alternativas, se han tomado los siguientes precios unitarios:

Unidad	Precio unitario (€)
m^3 grava cantera	22
m^3 arena continental	38
m^3 arena natural dunas	6
m^3 cribado y recolocación	4
m^3 nueva escollera	20
$m3$ retirada escollera	13

Tabla 6.- Precios unitarios de unidades de obra considerados.

Considerando los volúmenes indicados en la sección anterior, se obtienen los costes parciales para cada una de las alternativas (Tabla 7) y el coste total para ellas (Tabla 8).

	CRIBADO Y RECOLOC.		NUEVA APORTACIÓN		RETIRADA ESCOLLERA		NUEVA ESCOLLERA		DUNAS	
ALTERNATIVA	M3	COSTE	M3	COSTE	M3	COSTE	M3	COSTE	M3	COSTE
1	0	0	234,224	5,152,921	2,460	31,978	29,115	582,297	15,000	90,000
2	76,483	305,933	119,437	2,627,609	2,460	31,978	9,714	194,275	15,000	90,000
3	0	0	151,627	3,335,800	2,460	31,978	29,397	587,944	15,000	90,000
4	57,968	231,871	67,776	1,491,070	2,460	31,978	9,488	189,758	15,000	90,000
5	76,483	305,933	119,437	2,627,609	2,460	31,978	11,633	232,659	15,000	90,000
6	57,968	231,871	67,776	1,491,070	2,460	31,978	11,071	221,426	15,000	90,000
7	110,914	443,655	79,222	1,742,878	2,855	37,119	12,235	244,694	22,200	133,200
8	60,085	240,341	76,600	1,685,196	0	0	10,692	213,840	15,000	90,000

Tabla 7.- Resumen de costes para las distintas unidades de obra en el estudio preliminar de alternativas.

ALTERNATIVA	CRIBADO Y RECOLOCACIÓN	NUEVA APORTACIÓN	RETIRADA ESCOLLERA	NUEVA ESCOLLERA	DUNAS	COSTE TOTAL
1	0	5,152,921	31,978	582,297	90,000	5,857,196
2	305,933	2,627,609	31,978	194,275	90,000	3,249,795
3	0	3,335,800	31,978	587,944	90,000	4,045,722
4	231,871	1,491,070	31,978	189,758	90,000	2,034,677
5	305,933	2,627,609	31,978	232,659	90,000	3,288,179
6	231,871	1,491,070	31,978	221,426	90,000	2,066,345
7	443,655	1,742,878	37,119	244,694	133,200	2,601,546
8	240,341	1,685,196	0	213,840	90,000	2,229,337

Tabla 8.- Resumen de costes para las distintas alternativas en estudio preliminar.

En el conjunto de la valoración, el peso dado a este criterio será de 0.2.

4.5 VALORACIÓN

A modo de resumen, se muestra la valoración de las diferentes alternativas los cuatro criterios considerados se han valorado de 0 a 5, siendo 0 nada valorado y 5 la máxima valoración, en relación al conjunto.

	Peso	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Funcional	**0.4**	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.5	5.0
Ambiental	**0.2**	1.0	3.0	2.5	5.0	1.5	4.8	4.2	4.5
Estético	**0.2**	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.2	5.0
Económico	**0.2**	1.0	3.0	2.0	5.0	3.5	4.8	4.0	4.5
TOTAL		2.4	3.2	2.9	4.4	3.4	4.3	4.3	4.8

Tabla 9.- Valoración de alternativas.

La alternativa óptima, según el conjunto de criterios seleccionados, es por tanto la alternativa 8.

ANEXO: PERFILES PARA MEDICIONES

En esta sección se adjuntan los perfiles empleados para la medición de áreas de las distintas unidades de obra en el diseño de playa. Los volúmenes totales se obtienen con las longitudes de las celdas litorales.

ALTERNATIVA 1

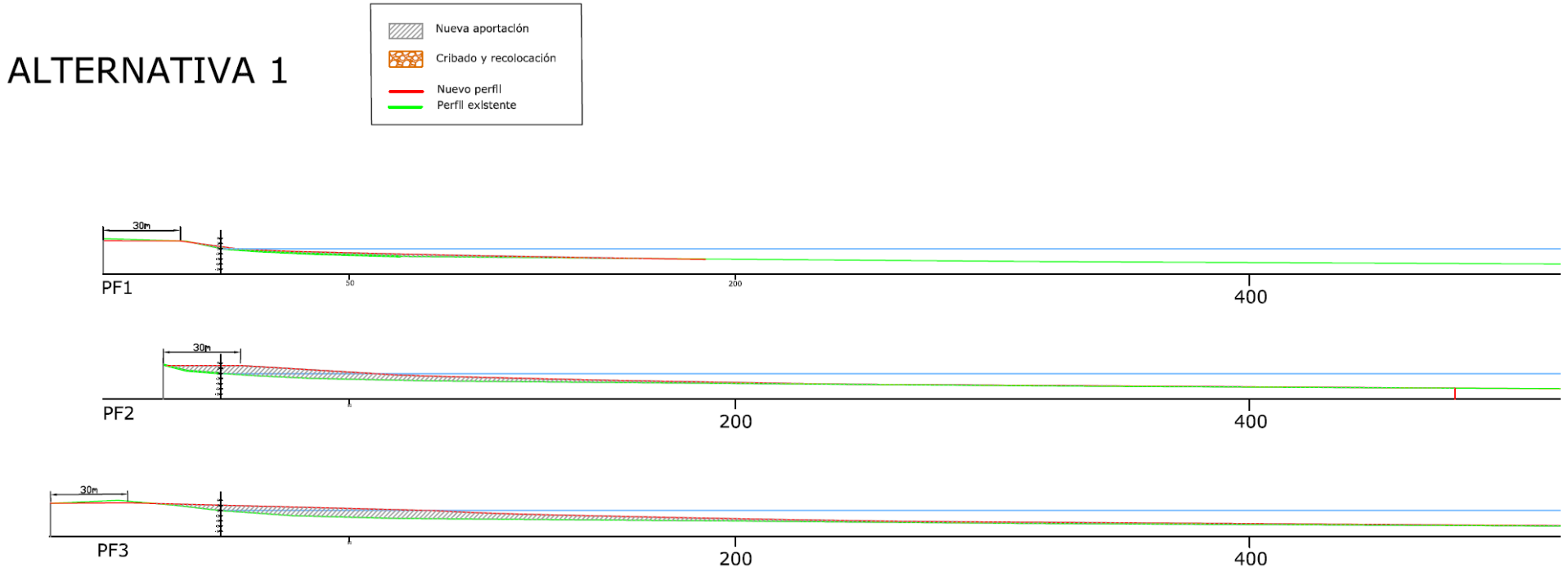


Figura 21. Perfiles mediciones A1.

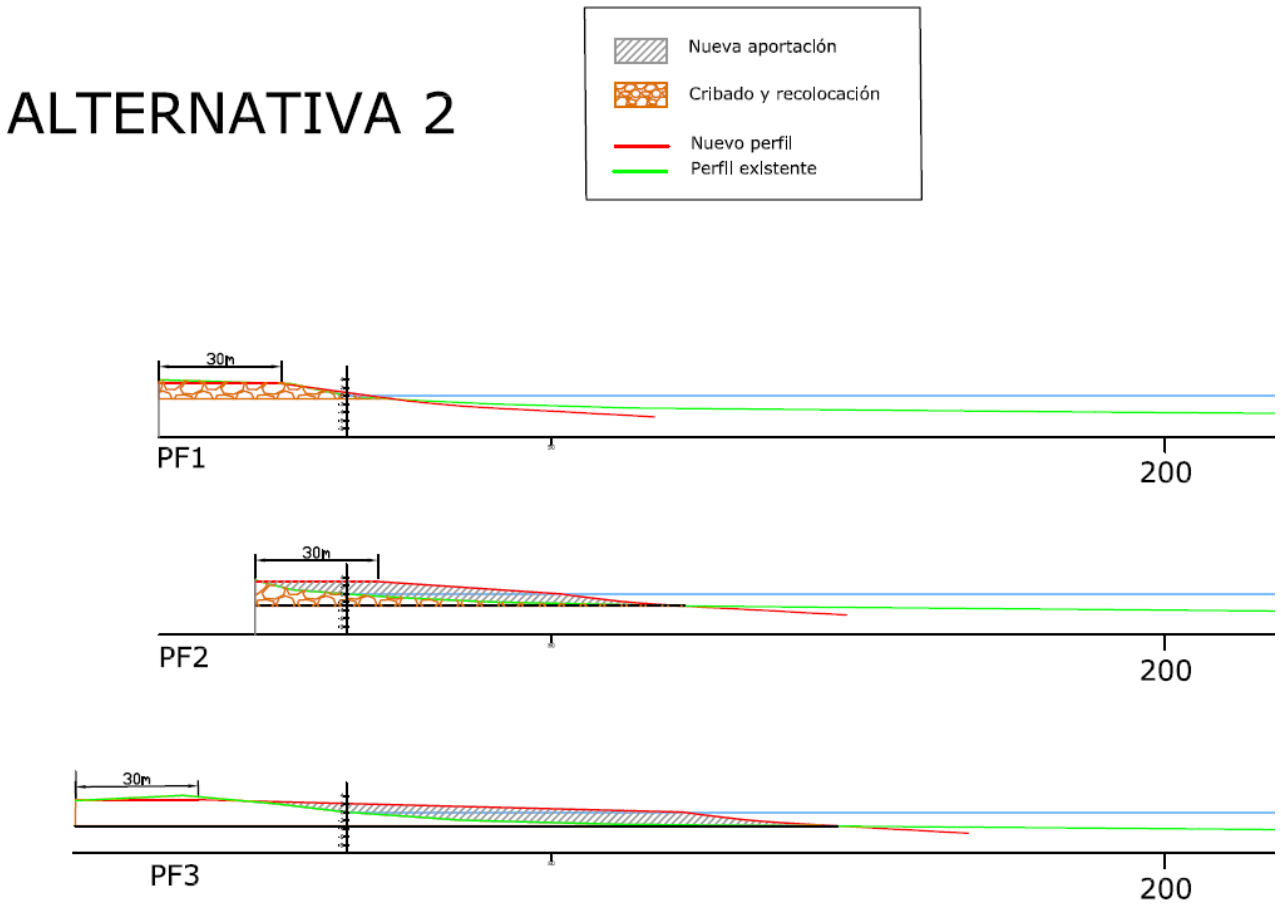


Figura 22. Perfiles mediciones A2.

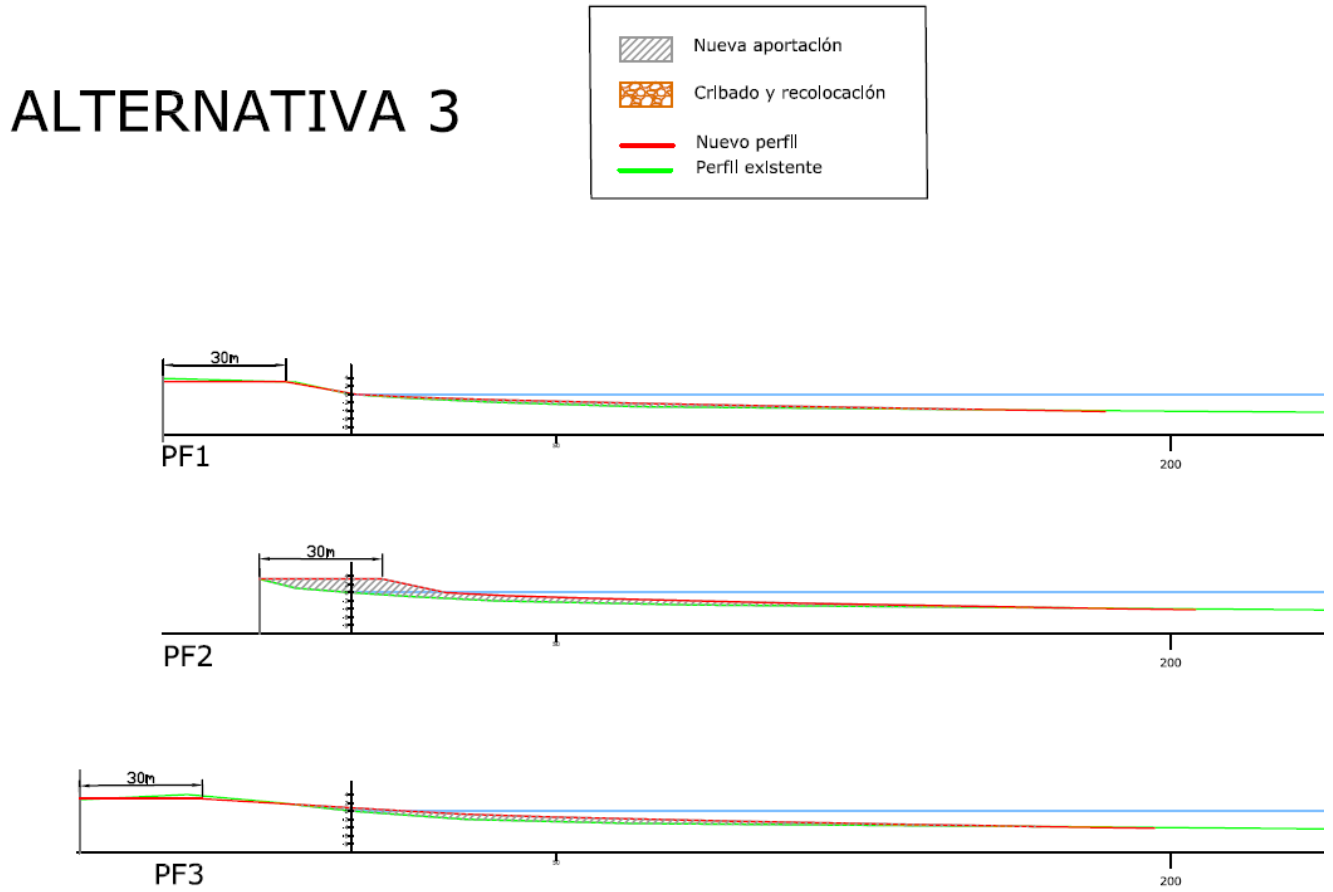


Figura 23. Perfiles mediciones A3.

ALTERNATIVA 4

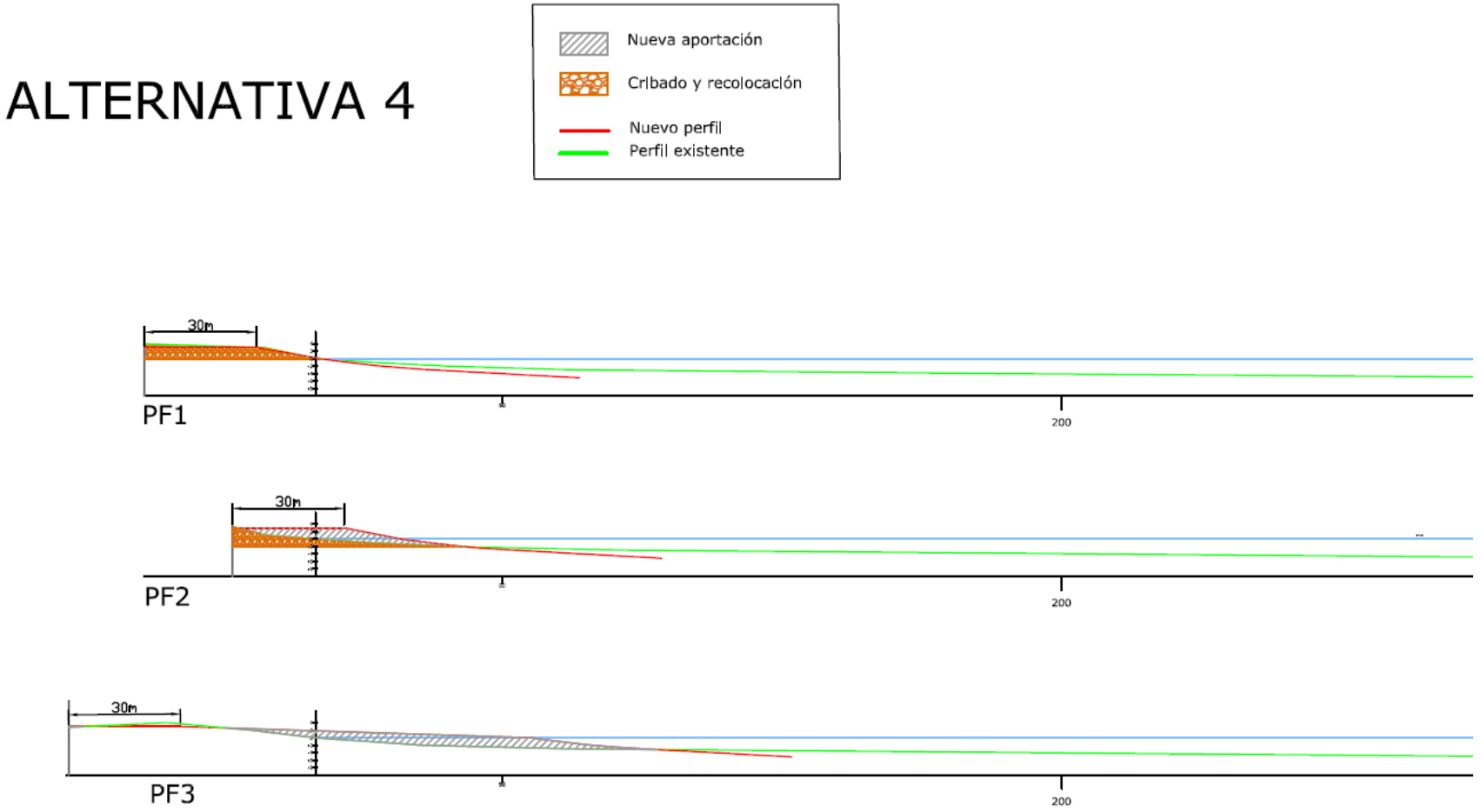
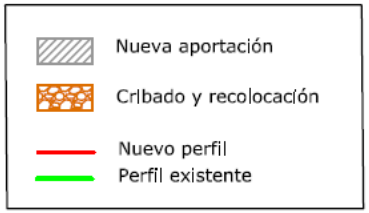


Figura 24. Perfiles mediciones A4.

ALTERNATIVA 5



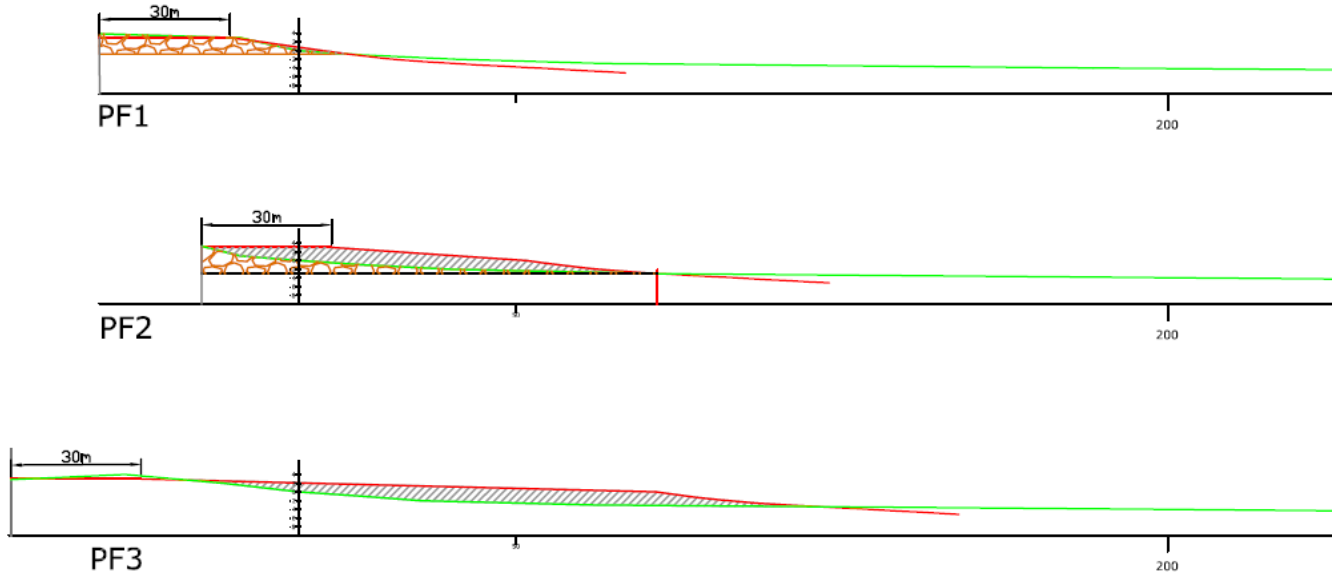


Figura 25. Perfiles mediciones A5.

ALTERNATIVA 6

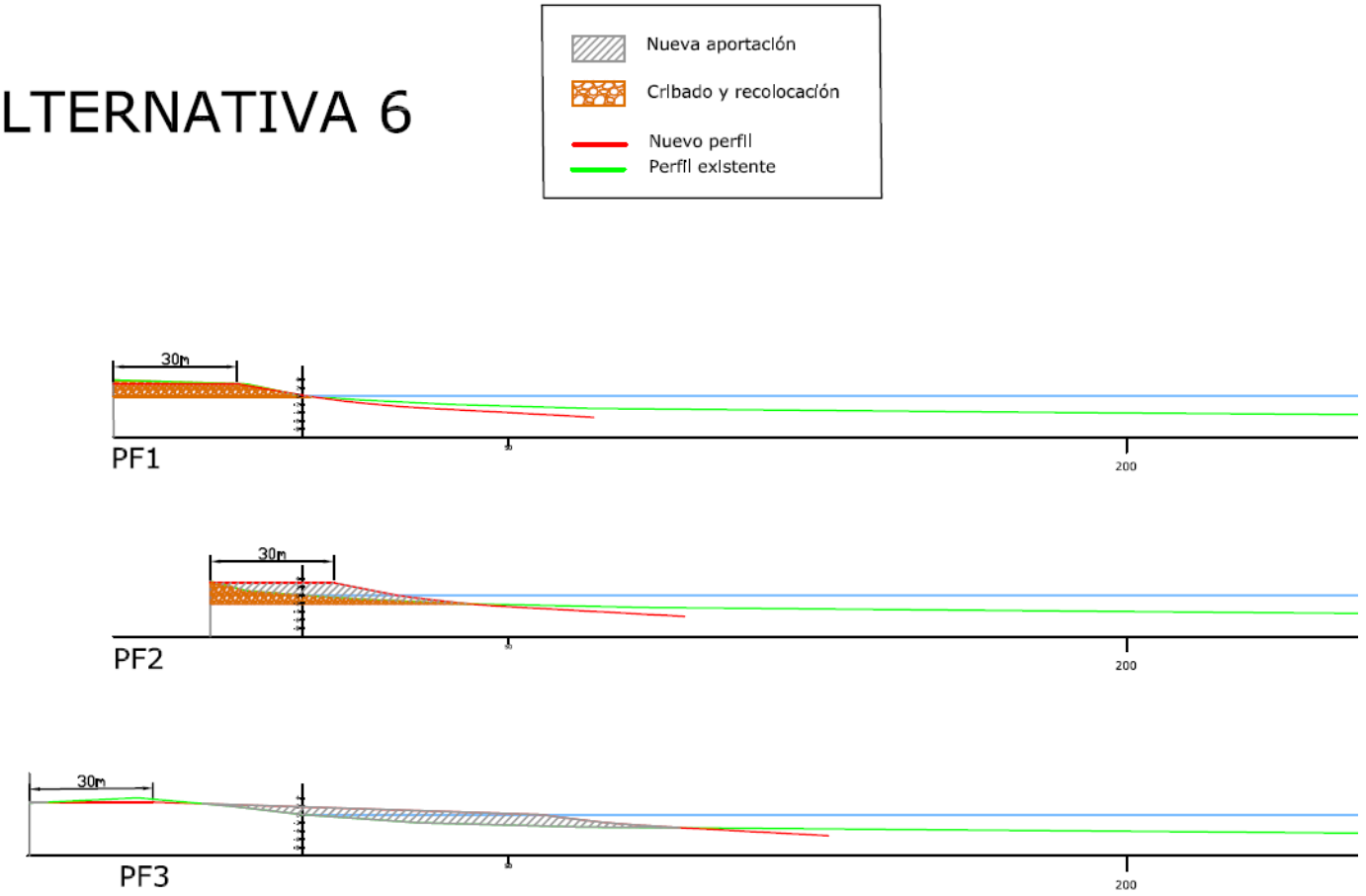


Figura 26. Perfiles mediciones A6.

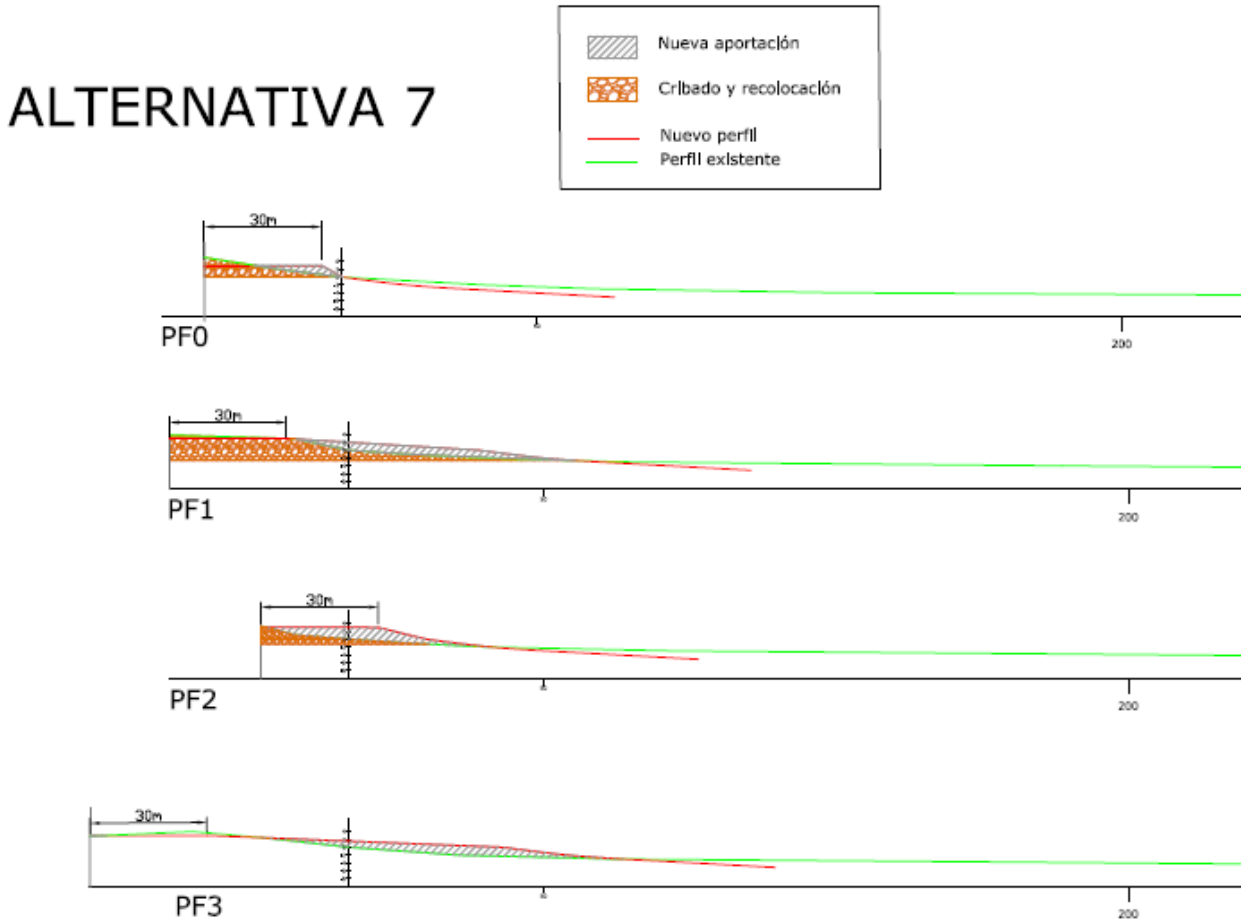
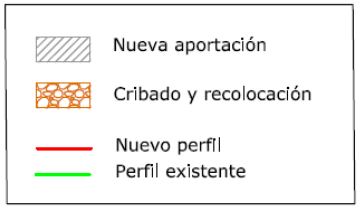


Figura 27. Perfiles mediciones A7.

ALTERNATIVA 8



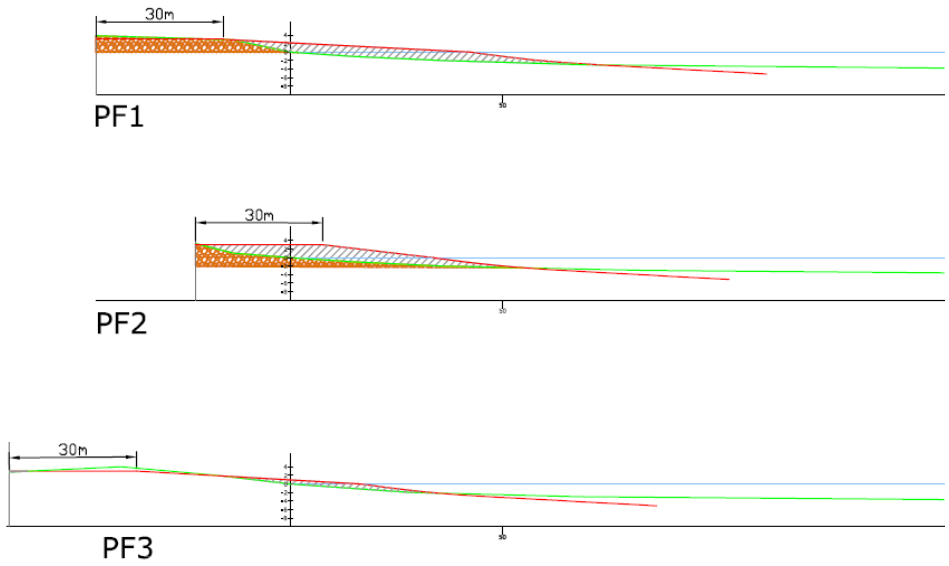


Figura 28. Perfiles mediciones A8.

2.8.- Dimensionamiento de la solución.

3.1 PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno para el diseño de la obra se determina en función de la vida útil y de la probabilidad de fallo para la que se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-Pf)^{Vm^{-1}}}$$

Donde Tr es el periodo de retorno en años, Vm es la vida útil en años y Pf es la probabilidad de fallo frente a los diferentes modos de fallo asociados a la obra u actuación.

En el apartado 2.8 de la *ROM 1.0-09 Descripción de los agentes climáticos en las obras marítimas y bases para el diseño de los diques de abrigo [2]*, se recomiendan los valores de los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA) para los tipos de actuación posibles en áreas litorales.

Figura 2.2.33. ***IRE, ISA y vida útil mínima en función del tipo de área abrigada***

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE IRE [7]		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V_m) [7] (años)
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r_3	Alto	50
		Puertos para tráficos especializados	$r_2(r_3)^1$	Medio (alto)[1]	25 (50)[1]
	PUERTO PESQUERO		r_2	Medio	25
	PUERTO NÁUTICO-DEPORTIVO		r_2	Medio	25
	INDUSTRIAL		$r_2(r_3)^1$	Medio (alto)[1]	25 (50)[1]
	MILITAR		$r_2(r_3)^2$	Medio (alto)[2]	25 (50)[2]
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r_2 $(r_3)^3$	Medio (alto)[3]	25 (50)[3]
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES[4]		r_3	Alto	50
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		$r_2(r_3)^5$	Medio (alto)[5]	25 (50)[5]
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		$r_1(r_3)^6$	Bajo (alto)[5]	15 (50)[7]
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r_1	Bajo	15

Figura 2. IRE, ISA y vida útil mínima según el tipo de obra. Fuente: ROM 1.0-09.

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se describe la metodología empleada para el dimensionamiento de la solución adoptada para la estabilización del frente marítimo de Les Marines en Nules (Castellón). Esta metodología incluye, por un lado, el diseño de la playa y, por otro, el dimensionamiento de las estructuras de defensa. El diseño de la playa incluye la forma en planta de equilibrio a partir de la dirección del flujo medio de energía y otras características del oleaje, y el perfil resultante de la actuación.

El diseño de las estructuras incluye la justificación de la formulación empleada, el cálculo del peso de escollera de los espigones, tanto del cuerpo como del pie del talud, y la optimización del diseño con el fin de aprovechar las estructuras existentes y así disminuir el coste constructivo.

2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA

La solución proyectada supone dos actuaciones fundamentales: por un lado, la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el nuevo material de aportación (grava fina de $D_{50} = 5\ mm$) y, por otro, la regeneración de las playas existentes en las celdas litorales.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

El material de aporte para la regeneración es grava fina, con $D_{50} = 5\ mm$.

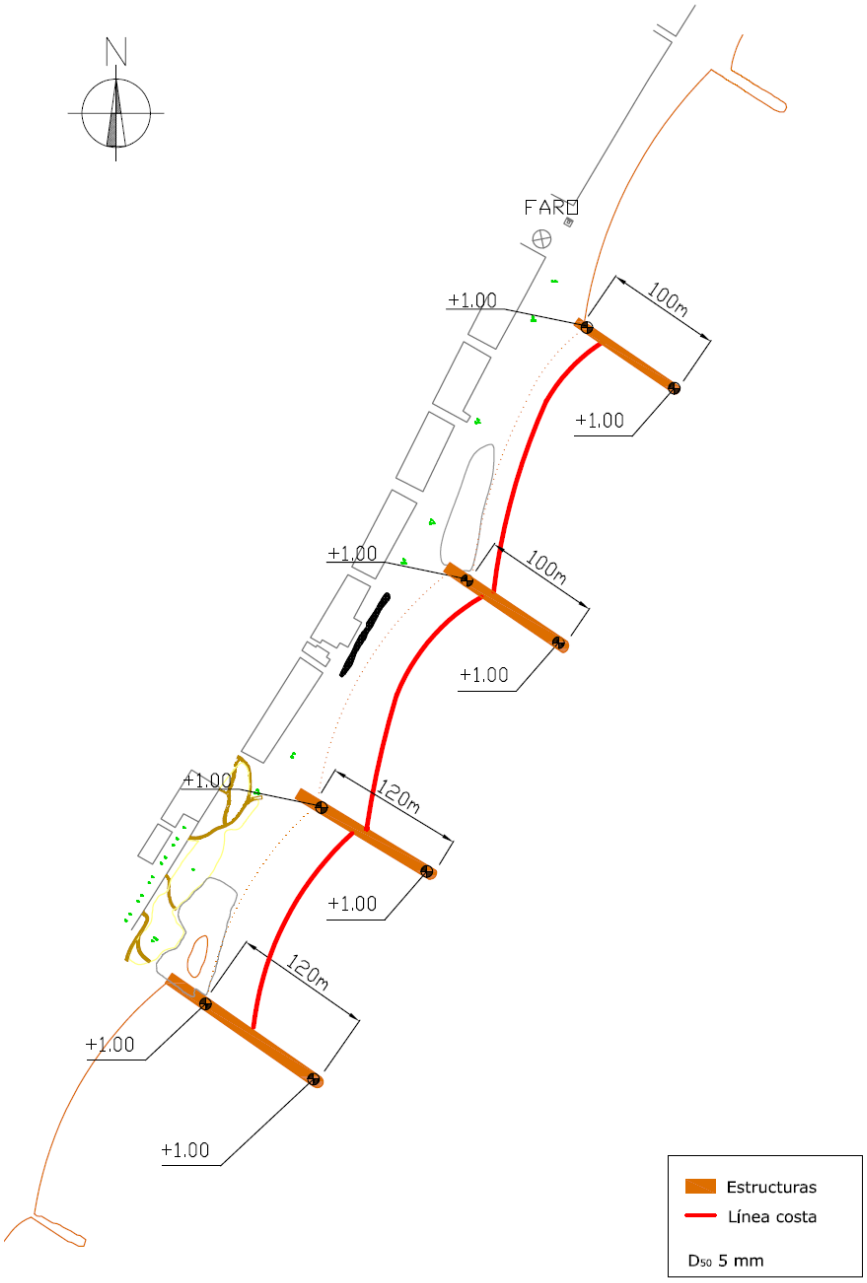


Figura 1. Vista en planta de la solución.

3. PARÁMETROS DE DISEÑO

En los siguientes puntos se detallan los parámetros que definen las variables de diseño de la actuación, establecidas con el objetivo de cumplir con los criterios técnicos y funcionales.

Figura 2.2.34. ***ISA y probabilidad conjunta de fallo para ELU y $p_{f_{ELS}}$***

	TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		$P_{f_{ELU}}$	$P_{f_{ELS}}$
ÁREAS PORTUARIAS	COMER-CIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas[1]	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	NÁUTICO-DEPORT.	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	INDUS-TRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique[1]		s_3	Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	PROTEC-CIÓN *	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique[1]	Mercancías peligrosas[2]	s_3	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES[3]			s_4	Muy alto	0.0001	0.07
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			s_2 (s_3)[4]	Bajo (alto)[4]	0.10 0.0001	0.10 0.07
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			s_2 (s_4)[5]	Bajo (muy alto)[5]	0.10 0.0001	0.10 0.07
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			s_1	No signif.	0.20	0.20

Figura 3. ISA y probabilidad de fallo según el tipo de obra. Fuente: ROM 1.0-09.

Para regeneración y defensa de playas se tiene, a partir de las tablas anteriores, un valor de vida útil mínima de 15 años ($Vu = 15$)y un valor de probabilidad de fallo en estado límite último y de servicio de 0.20 ($Pf = 0.20$). Por tanto:

$$Tr = \frac{1}{1-(1-Pf)^{Vm^{-1}}} \sim 68\ años$$

3.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLAYA

Los siguientes puntos indican de forma resumida los parámetros que se tienen en cuenta para el diseño de la playa:

- El material de aportación será de tipo grava fina (D50 = 5 mm).
- La anchura mínima de playa es de 30 m.
- El perfil de equilibrio de la playa se obtiene a partir de la formulación de Dean con el parámetro correspondiente al tamaño de material D_{50}=5 mm.

- La forma en planta de equilibrio de la playa se obtiene a partir de la formulación de Hsu y Evans y las características de dinámica litoral obtenidas (dirección de flujo medio y periodo característico).

- La cota de diseño de la berma de playa se establece en la +3,00 m, con la pendiente que resulte hasta la cota cero.

3.3 PARÁMETROS DE DISEÑO MODIFICADOS DEBIDO AL EFECTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Tal y como se refleja en el Anejo Efectos del Cambio Climático, los valores estimados para el año horizonte correspondiente a un periodo de diseño de 68 años son:

- Incremento de la altura de ola significante media: $\Delta Hs, media = -1{,}9\ cm$
- Incremento de la altura de ola significante asociada a 12 h/año: $\Delta H_{s12} = -42.9\ cm$
- Incremento de la dirección media del flujo de energía del oleaje: $\Delta \theta FE = +0{,}608\ °$
- Incremento del nivel medio del mar: $\Delta \eta = +11{,}4\ cm$

Estos valores han sido obtenidos a partir de tendencias estimadas que recoge el proyecto Cambio Climático en la Costa Española' (C3E) realizado por la Universidad de Cantabria.

Por tanto, se modifican los parámetros que se obtuvieron del estudio de clima marítimo y de dinámica litoral realizado y que se recogen en los anejos correspondientes, viéndose incrementados con las cantidades anteriores y quedando como indica la siguiente tabla. Las playas se han nombrado del 1 al 3 comenzando por la situada más al norte.

	FME [º]	FME	Hs12 (m)
Playa 1	108.	S73E	2.22
Playa 2	109.2	S70.8E	2.22
Playa 3	110	S70E	2.22

Tabla 1.-. Parámetros para definir la forma en planta en equilibrio mediante el módulo del SMC.

Como profundidad de cierre se toma $h^* = 4.2\ m$ y como valor de periodo medio asociado a $Hs12$, $T = 8.5\ s$.

4. DIMENSIONAMIENTO DE LA PLAYA

4.1 DISEÑO DE LA PLANTA DE EQUILIBRIO

La estimación de la forma en planta de la playa regenerada se basa en la existencia de un patrón en la forma de las playas ubicadas al abrigo de un cabo o saliente. Para ello, se ha utilizado el procedimiento propuesto por *González y Medina (2001)* a partir de los trabajos de *Hsu y Evans (1989),* que se encuentra implementado en el Módulo de Modelado del Terreno del Sistema de Modelado Costero *(SMC)* de la Universidad de Cantabria.

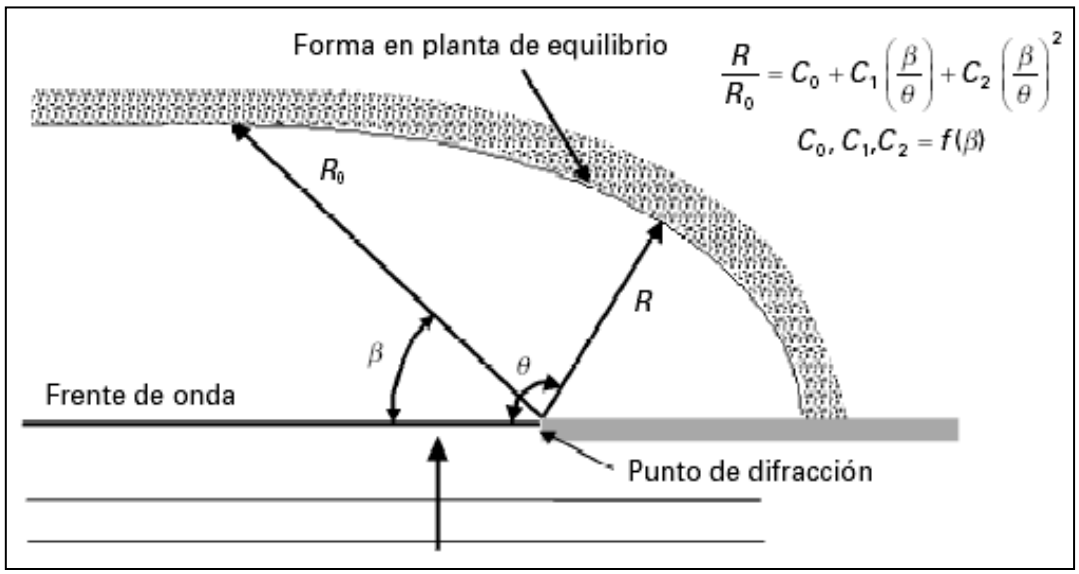


Figura 4. Ecuación de la parábola de equilibrio (González y Medina, 2001).

En este proyecto constructivo que nos ocupa, la estimación de la forma en planta de equilibrio de la playa se obtiene a partir del ajuste de parábolas de *Hsu y Evans* que surgen de considerar la difracción del oleaje en los extremos de las estructuras que se proyectan. Las parábolas resultantes son tangentes en su desarrollo recto que se ajusta para garantizar una anchura mínima de 30 m, referida a las edificaciones que limitan la playa en las cuatro celdas de actuación.

Aplicando dicho procedimiento y haciendo uso de los resultados obtenidos en el estudio de dinámica litoral, se obtienen los valores determinantes en el ajuste de la planta de equilibrio de las playas a regenerar en cada una de las celdas litorales. Las playas se han nombrado del 1 al 3 comenzando por la situada más al norte.

	Punto de control		Frente del Oleaje				Distancia de la línea de costa			
	X	Y	$\theta[°]$	$h*[m]$	$T[s]$	$L_d[m]$	$Y\ [m]$	α_{min}	Y/Ld	R_0
Playa 1	747418.265	4412364.986	S73E	4.2	8.5	52.4	100	51.16	1.907	159.46
Playa 2	747314.541	4412128.247	S70.8E	4.2	8.5	52.4	120	48.04	2.289	179.46
Playa 3	747198.853	4411926.307	S70E	4.2	8.5	52.4	110	49.53	2.098	169.46

Tabla 2.-. Parámetros de diseño de las playas en el SMC.

4.2 DISEÑO DEL PERFIL DE EQUILIBRIO

El diseño del perfil de playa se realiza a partir del perfil teórico de Dean (1977), que depende del tamaño de material:

$$y = A_D x^{2/3}$$

donde y es la profundidad en m, x es la distancia a la línea de costa y A_D es el parámetro de Dean que depende de la velocidad de caída de grano y de un parámetro k dependiente del tamaño de grano. La formulación será válida hasta la profundidad de cierre que ya se describió y obtuvo en el Anejo de Dinámica Litoral ($h^* = 4.2\ m$).

Parámetro	Valor	Hsd [m]
D50 [mm]	5	$y = -A \cdot x^{\frac{2}{3}}$
k	0.51	
w	0.308	
A	0.304	

Tabla 3.-. Parámetros de la formulación de Dean en el diseño del perfil.

La tabla siguiente recoge las coordenadas (x,y) obtenidas respecto a la línea de costa actual.

x	y
0.00	0.00
5.00	-0.89
10.00	-1.41
15.00	-1.85
20.00	-2.24
25.00	-2.60
30.00	-2.93
35.00	-3.25

x	y
40.00	-3.55
45.00	-3.84
50.00	-4.12
55.00	-4.40
60.00	-4.66
65.00	-4.91
70.00	-5.16
75.00	-5.40
80.00	-5.64
85.00	-5.87
90.00	-6.10

Tabla 4.-. Puntos (x,y) del perfil teórico de Dean para grava fina de diámetro 5 mm.

Este perfil teórico es el proyectado a partir de la nueva línea de costa, pero el perfil final de la playa será el resultante de avanzar a partir del perfil de playa actual hasta que el ancho de playa ganado se corresponda con el ancho de playa a ganar (mínimo 30 m), y que para cada celda litoral será diferente (véase plano correspondiente).

En la figura adjunta se muestra el perfil teórico y la línea de profundidad de cierre, hasta el cual sería válido este perfil de Dean.

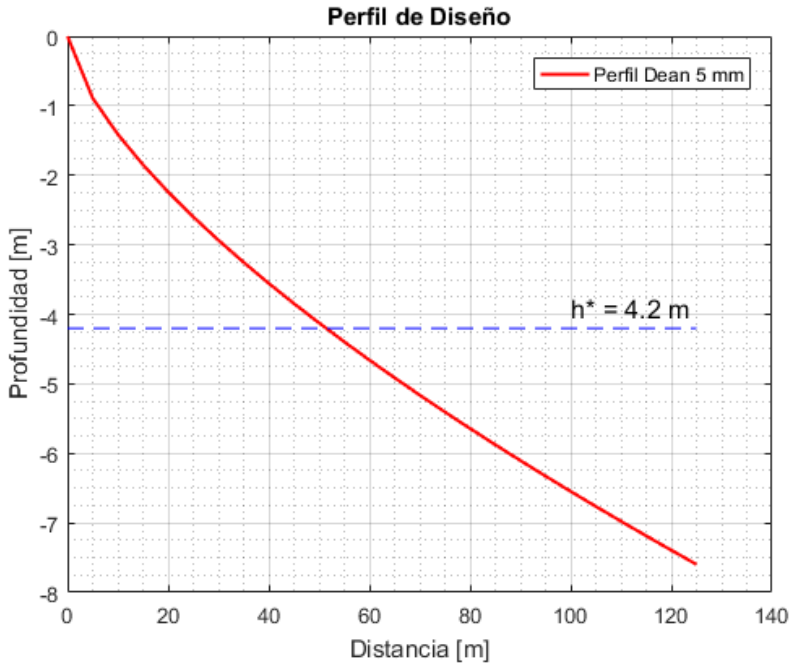


Figura 5. Perfil de diseño de la playa (Dean para diámetro 5 mm).

La cota de la berma de la playa seca se toma a +3.00 m.

5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS

5.1 GEOMETRÍA DE LOS ESPIGONES

La longitud de los espigones debe ser suficiente para contener el perfil del relleno de la playa y alcanzar la profundidad a partir de la cual no se esperan movimientos significativos de sedimento (h* = 4.2 m).

Numerando de norte a sur los espigones:

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

En los cuatro espigones el ancho en coronación se establece en 5 m, con una cota de +1.00 m.

5.2 OLEAJE DE DISEÑO

En el anejo Propagaciones de oleaje se obtuvo el oleaje en régimen extremal a pie de playa en los distintos puntos de control. En concreto se obtuvieron los valores de Hs a 3 m, 4 m y 5 m de profundidad.

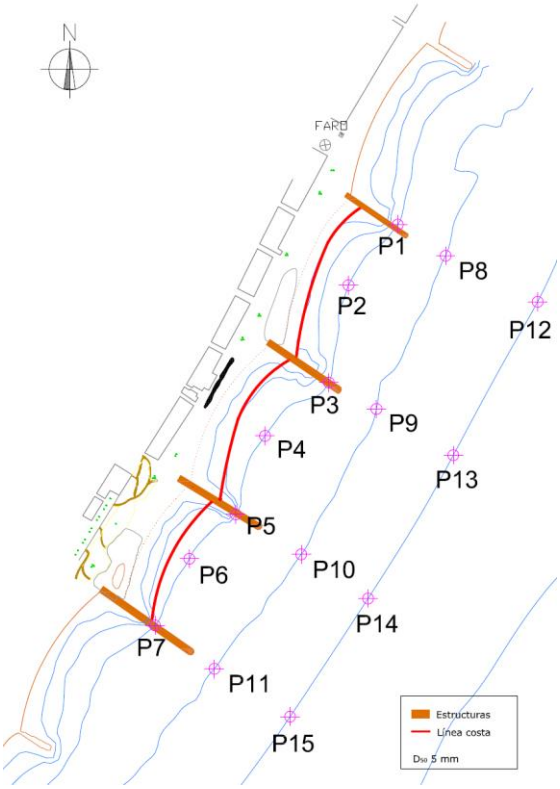


Figura 6. Puntos de control seleccionados para la propagación hasta pie de playa.

Punto	Prof [m]	Hsd [m]
P1	3	1.93
P2	3	1.70
P3	3	1.97
P4	3	1.67
P5	3	1.76
P6	3	1.67
P7	3	1.75
P8	4	2.22
P9	4	2.20
P10	4	2.21
P11	4	2.16
P12	5	2.54
P13	5	2.52
P14	5	2.48
P15	5	2.50

Tabla 5.-. Principales estadísticos en régimen escalar en los puntos de control a pie de playa.

Para el diseño de las estructuras se tomarán como valores de cálculo los correspondientes a la altura de ola obtenidos a la profundidad aproximada máxima del morro de cada uno de los espigones, para el periodo de retorno de 68 años, con la variación debida a los efectos del cambio climático. Puesto que no se tienen datos correspondientes al periodo de retorno de 68 años se toma el incremento correspondiente a la altura de ola media $\Delta Hs, media = -1{,}9\, cm$ para obtener la altura de ola significante modificada por esta consideración ($H_{sd,cc}$).

Estos valores son los que recoge la Tabla 6.

Espigón	Profundidad [m]	Punto Control	Hsd [m]	Hsd,cc[m]
1	4	P8	2.22	**2.20**
2	4	P9	2.20	**2.18**
3	4	P10	2.21	**2.19**
4	4	P11	2.16	**2.14**

Tabla 6.-. Resumen de oleaje de diseño a emplear para el dimensionamiento de los espigones.

5.3 DIMENSIONAMIENTO

5.3.1 JUSTIFICACIÓN DE LA FORMULACIÓN EMPLEADA PARA EL CUERPO DEL ESPIGÓN

El peso de las piezas que es estable para un determinado nivel de daño en los diques en talud se puede calcular con una expresión del tipo:

$$W = \gamma_w \, H^3 \, R \, \psi$$

Donde

- W es el peso de la unidad del manto $[t]$
- H es la altura de cálculo $[m]$
- γ_w es la densidad de la unidad del manto $[t/m^3]$
- R es función de la relación entre el peso específico del material y el del agua: $R = S_R/(S_R - 1)$, con $S_R = \gamma_r/\gamma_w$
- ψ es la función de estabilidad, que depende del talud del manto y del peralte del oleaje incidente para cada tipo de pieza y grado de avería.

A continuación se van a exponer las formulaciones más conocidas y empleadas: la fórmula de Hudson, la de Losada y Giménez-Curto y la de Van der Meer. Las dos primeras se formularon a partir de oleaje regular y la de Van der Meer a partir de oleaje irregular.

5.3.1.1 FÓRMULA DE HUDSON (1959)

La formulación de Hudson responde a la expresión:

$$W = \frac{H^3 \rho_r}{(S_r - 1)^3 K_D cotan(\alpha)}$$

Donde

- W es el peso de la unidad del manto $[t]$
- H es la altura de diseño $[m]$
- ρ_r es la densidad de la unidad del manto $[t/m^3]$
- S_R es la relación entre densidades $S_R = \rho_r/\rho_w$
- α es el ángulo del talud, por lo que $cotan(\alpha) = 1.5$
- K_D es el coeficiente de estabilidad, que depende principalmente del tipo de rotura del oleaje, del nivel de avería, y del tipo y forma de colocación de las piezas en el talud (v. Tabla 7).

En la edición de 1984, el *Shore Protection Manual* aconseja unos valores determinados para el coeficiente de estabilidad K_D (v. Tabla 7) en función de si el oleaje rompe justo en el frente del dique (o espigón) o de si, por el contrario, ya ha roto previamente debido al fondo.

Table 10–8. Suggested K_D values for use in determining armor unit weight

			No-Damage Criteria and Minor Overtopping				
			Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^b		K_D		Slope
Armor Units	n^a	Placement	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	cot θ
Quarrystone							
Smooth rounded	2	Random	*1.2*[c]	2.4	*1.1*	1.9	1.5–3.0
Smooth rounded	> 3	Random	*1.6*	*3.2*	*1.4*	*2.3*	d
Rough angular	1	Random[b]	b	*2.9*	b	*2.3*	d
					1.9	3.2	1.5
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	*1.6*	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	> 3	Random	2.2	*4.5*	2.1	*4.2*	d
Rough angular	2	Special[e]	5.8	7.0	*5.3*	6.4	d
Parallelepiped[f]	2	Special[e]	7.0–20.0	*8.5–24.0*	—	—	
Tetrapod and					*5.0*	6.0	1.5
quadripod	2	Random	7.0	8.0	*4.5*	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
					8.3	9.0	1.5
Tribar	2	Random	*9.0*	10.0	*7.8*	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.8[g]	31.8[g]	*8.0*	*16.0*	2.0[h]
					7.0	*14.0*	3.0
Modified cube	2	Random	*6.5*	7.5	—	*5.0*	d
Hexapod	2	Random	*8.0*	9.5	*5.0*	*7.0*	d
Toskane	2	Random	11.0	22.0	—	—	d
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	*7.5*	*9.5*	d
Quarrystone (K_{RR})							
Graded angular	—	Random	2.2	2.5	—	—	

[a] n is the number of units comprising the thickness of the armor layer.
[b] The use of single layer of quarrystone armor units is not recommended for structures subject to breaking waves, and only under special conditions for structures subject to nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.
[c] *Caution:* Those K_D values shown in *italics* are unsupported by test results and are only provided for preliminary design purposes.
[d] Until more information is available on the variation of K_D values with slope, the use of K_D should be limited to slopes ranging from 1:1.5 to 1:3. Some armor units tested on a structure head indicate a K_D–slope dependence.
[e] Special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face.
[f] Parallelepiped-shaped stone: long slab-like stone with the long dimension about three times the shortest dimension (Markle and Davidson, 1979).
[g] Refers to no-damage criteria (< 5% displacement, rocking, etc.); if no rocking (< 2%) is desired, reduce K_D by 50% (Zwamborn and Van Niekerk, 1982).
[h] Stability of dolosse on slopes steeper than 1:2 should be substantiated by site-specific model tests.
[i] Applicable to slopes ranging from 1:1.5 to 1:5.
Source: From U.S. Army Corps of Engineers (1984).

Tabla 7.- Valores sugeridos para el coeficiente de estabilidad, Shore Protection Manual (1984).

La fórmula de Hudson, presenta la ventaja de ser sencilla y es válida para diques con cualquier pendiente y manto exterior formado por dos capas de bloques y va asociada a un nivel de daño < 5 % (inicio de avería). Sin embargo, presenta una serie de debilidades:

- potenciales efectos de escala, puesto que la formulación se dedujo a partir de ensayos a escala muy reducida;
- aplicable sólo para oleaje regular;

- no tiene en cuenta el período de olaje ni la duración del temporal;
- no describe ni tiene en cuenta el nivel de daño de la estructura;
- sólo se emplearon en los ensayos estructuras de núcleo permeable.

5.3.1.2 FÓRMULA DE LOSADA Y GIMÉNEZ CURTO (1992)

Esta formulación encuentra una expresión para la función de estabilidad que depende del número de Iribarren y de dos constantes empíricas definidas para cada tipo de pieza, talud y nivel de avería. La forma general de esta función es la siguiente:

$$\Psi = A(I_r - I_{r0})\exp[B(I_r - I_{r0})]$$

Donde

- $I_{r0} = 2.654 - \tan(\alpha)$
- A, B son coeficientes de ajuste que dependen del tipo de pieza, forma de colocación y pendiente del talud.

Esta formulación es sólo aplicable a oleaje regular, si bien reconoce la aleatoriedad intrínseca de la respuesta de los diques de escollera e introducen unas bandas de confianza para facilitar el diseño.

5.3.1.3 FÓRMULA DE VAN DER MEER (1993)

La formulación de Van der Meer (1988) es mucho más reciente y cubre todos los defectos expuestos anteriormente. Fue obtenida a partir de una extensa serie de ensayos a escala que incluían gran variedad de condiciones de oleaje (siempre irregular) y un amplio rango de permeabilidades de mantos y núcleo y de características de los diques.

La formulación de Van der Meer depende del tipo de rotura de ola (surfing o plunging), que son función del número de Iribarren (Ir) y que vienen determinadas según el número de Iribarren crítico:

$$Ir_{cr} = \left(6.2p^{0.51\sqrt{\tan(\alpha)}}\right)^{\left(\frac{1}{p+0.5}\right)}$$

El número de estabilidad Ns se obtiene según sea la rotura tipo surging (rotura reflejante) o plunging (rotura en voluta):

Si $Ir_{CR} > Ir$ (plunging waves)

$$N_{S_1} = 6.2p^{0.18}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}(Ir)^{-0.5}$$

Si $Ir_{CR} < Ir$ (surging waves)

$$N_{S_2} = p^{-0.13}\left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}\sqrt{cotan(\alpha)}(Ir)^{p}$$

En las expresiones anteriores, las variables son las que se especifican a continuación:

- p es la permeabilidad considerada (desde 0.1 para núcleo impermeable hasta 0.6 para filtros igual al manto).

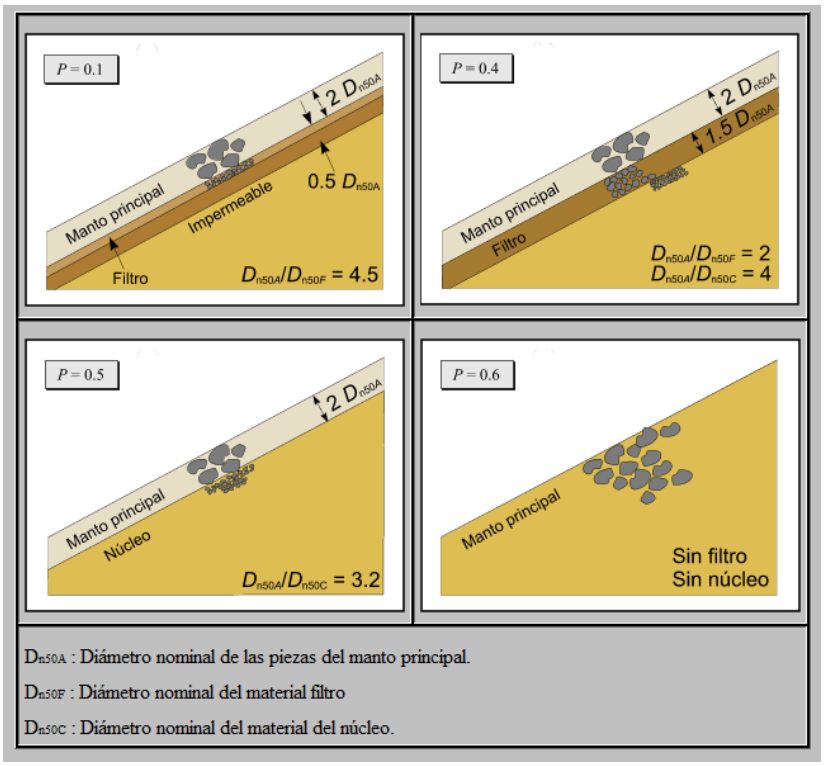


Figura 7. Valores de permeabilidad para las distintas secciones tipo. Fuente: TIC (IH Cantabria)

- N es el número de olas a la que estará sometido el dique durante la tormenta de cálculo. Suele tomarse entre 1.000 y 3.000 olas.
- S es el daño adimensional del manto permitido (2, equivalente al 5% para inicio de avería).
- Ir es el número de Iribarren calculado con H_s a pie de dique y la longitud de onda en profundidades indefinidas, asociada al periodo medio de oleaje.
- α es el ángulo del talud.

Finalmente, el peso de las piezas se obtiene mediante la expresión:

$$N_S = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} = max\{N_{S1}, N_{S2}\}$$

siendo Δ la densidad relativa.

La relación entre peso y diámetro nominal de piezas viene dada por: $D_{n50} = \left(\frac{W}{\rho_r}\right)^{1/3}$.

Esta metodología considera los factores que intervienen en el fenómeno: porosidad (número de capas), talud, grado de averías permitido, tipo de rotura de ola, duración del temporal, altura de ola y periodo, etc. Al considerarse la más completa y actualizada, será la que se emplee en estos trabajos.

5.3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA FORMULACIÓN EMPLEADA PARA EL PIE DEL TALUD

Para el dimensionamiento de la berma del pie del talud, se emplean las recomendaciones dadas por *The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (ed. 2012)*.

En este manual recomiendan que la profundidad máxima a la que se encuentra la coronación de la berma de pie (h_t) debe ser un valor comprendido entre $1 \cdot H_S$ y $1.5Hs$ (como regla general, aceptan 3 m de profundidad en la mayoría de los casos). El ancho de la berma (B_t), por su lado, debe permitir poder colocar al menos 3 diámetros de la pieza dimensionada. Es decir:

$$h_t \in (H_s, 1.5H_s)$$

$$B_t \geq 3 \cdot D_{50}$$

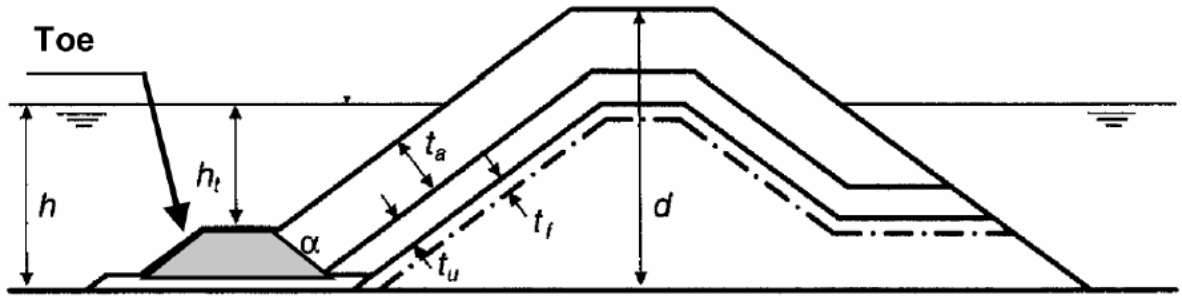


Figura 8. Esquema típico del pie de talud. Fuente: The Rock Manual (2012).

Para el dimensionamiento de las piezas de la berma se recurre a la formulación de Van der Meer (1995), también recogida en *The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (ed. 2012)*. Esta formulación relaciona la profundidad relativa de la berma, la altura de ola significante, las características de la pieza y un parámetro que mide el daño de la berma (N_{od}). N_{od} representa el número de piedras desplazadas de la estructura del pie en una franja de ancho igual a un diámetro nominal.

$$\frac{Hs}{\Delta \cdot D_{n50}} = \left(2 + 6.2\left(\frac{h_t}{h}\right)^{2.7}\right) \cdot N_{od}^{0.15}$$

Para inicio de avería, $N_{od} = 0.5$, que será el valor que emplearemos en estos trabajos, en consonancia con el dimensionamiento del cuerpo del espigón.

Se establecerá una altura de berma desde el fondo de 0.5 m para todos los espigones.

5.3.3 DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS

Para el dimensionamiento de las piezas del espigón se emplea la metodología propuesta por Van der Meer, ya comentada en la sección anterior de este documento.

5.3.3.1 BASES DEL DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TIPO

Se dimensionan las piezas de cada espigón por separado, tomando para cada uno de los espigones la altura de diseño que corresponde y la profundidad en las inmediaciones del morro del espigón en la que ha sido obtenida la altura de ola significante.

Para el diseño de los espigones se parte de la premisa de poder aprovechar al máximo las estructuras existentes, funcionales hasta la fecha, prolongándolos la longitud necesaria para contener el nuevo material de aporte. Esto implica mantener la tipología existente (único manto sin filtro ni núcleo).

Los cálculos se realizan para el cuerpo del espigón y para el sector del morro. La acción del oleaje sobre los morros de los diques es diferente a la ejercida sobre la alineación principal (cuerpo del espigón), debido a que el oleaje ataca los diferentes sectores del morro con ángulos de incidencia diferentes. Por otro lado, la difracción y refracción sobre el morro provocan la concentración del oleaje sobre el morro y la rotura sobre el mismo en voluta. Las investigaciones que existen sobre el tema aconsejan multiplicar por 1.5 el peso de las piezas del manto principal tanto para el morro como para la zona del cambio de alineación.

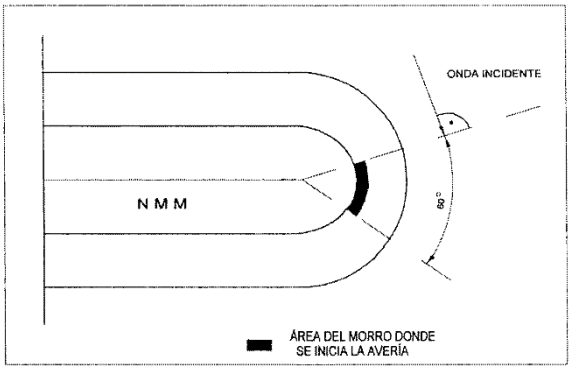


Figura 9. Localización de inicio de avería en el morro.

Fuente: Documento de referencia Vol. III. Obras marítimas (IH Cantabria).

5.3.3.2 CÁLCULO DEL PESO DE LA ESCOLLERA

Los parámetros de partida para el cálculo y los resultados obtenidos se recogen en las tablas siguientes. Todos los cálculos se han realizado para la hipótesis de avería "inicio de avería".

Datos de partida. Espigón 1. Tipología: Manto sin filtro ni núcleo.			
Altura de ola $[m]$			
Hs	2.20		
$H_{2\%}$	3.1		
Talud $cotan(\alpha)$	1.5	**Manto único**	
Periodo de pico Tp $[s]$	8.5	**Talud exterior**	1.5
Tipo de piezas	Escollera	**Peso específico** γ_r $[t/m^3]$	2.650
Número de olas N	3000	**Número de capas**	2
Daño S $(inicio\ de\ avería)$	2.0	**Porosidad**	0.4
Permeabilidad P	0.60	**Berma de pie**	
Profundidad dato Hs $[m]$	4	**Altura berma** $[m]$	0.5
Profundidad máxima morro h $[m]$	3.2	h_t $[m]$	2.7
Peso específico γ_w $[t/m^3]$	1.025	N_{od}	0.5

Tabla 8.-Datos de partida para el dimensionamiento de la sección del espigón 1.

Resultados (Van der Meer). Espigón 1.		
Número de estabilidad Ns	1.77	
Número de Iribarren $Irpo$	4.75	
	Manto único	
Diámetro $[m]$	1.10	
Peso $[tn]$	**3.547**	
Espesor $[m]$	-	
	Morro	**Pie del espigón**
Diámetro piezas D_{n50} $[m]$	1.26	0.260
Peso de las piezas $[tn]$	**5.32**	**0.047**
Ancho mínimo pie [m] $B_t \geq 3 \cdot D_{n50}$		0.780

Tabla 9.-Resultados obtenidos para el dimensionamiento de la prolongación del espigón 1.

Datos de partida. Espigón 2. Tipología: Manto sin filtro ni núcleo.			
Altura de ola [m]			
Hs	2.18		
$H_{2\%}$	3.05		
Talud $cotan(\alpha)$	1.5	**Manto único**	
Periodo de pico Tp $[s]$	8.5	**Talud exterior**	1.5
Tipo de piezas	Escollera	**Peso específico** γ_r $[t/m^3]$	2.650
Número de olas N	3000	**Número de capas**	2
Daño S $(inicio\ de\ avería)$	2.0	**Porosidad**	0.4
Permeabilidad P	0.60	**Berma de pie**	
Profundidad dato H_s $[m]$	4	**Altura berma** $[m]$	0.5
Profundidad máxima morro h $[m]$	3.4	h_t $[m]$	2.7
Peso específico γ_w	1.025	N_{od}	0.5

Tabla 10.-Datos de partida para el dimensionamiento de la sección del espigón 2.

Resultados (Van der Meer). Espigón 2.		
Número de estabilidad Ns	1.78	
Número de Iribarren $Irpo$	4.79	
	Manto único	
Diámetro $[m]$	1.08	
Peso $[tn]$	**3.351**	
Espesor $[m]$	-	
	Morro	**Pie del espigón**
Diámetro piezas $[m]$	1.24	0.289
Peso de las piezas $[tn]$	**5.03**	**0.064**
Ancho mínimo pie [m] $B_t \geq 3 \cdot D_{n50}$		0.867

Tabla 11.-Resultados obtenidos para el dimensionamiento de la prolongación del espigón 2.

Datos de partida. Espigón 3. Tipología: Manto sin filtro ni núcleo.			
Altura de ola [m]			
Hs	2.19		
$H_{2\%}$	3.1		
Talud $cotan(\alpha)$	1.5	**Manto único**	
Periodo de pico Tp $[s]$	8.5	**Talud exterior**	1.5
Tipo de piezas	Escollera	**Peso específico** γ_r $[t/m^3]$	2.650
Número de olas N	3000	**Número de capas**	2
Daño S $(inicio\ de\ avería)$	2.0	**Porosidad**	0.4
Permeabilidad P	0.60	**Berma de pie**	
Profundidad dato H_s $[m]$	4	**Altura berma** $[m]$	0.5
Profundidad máxima morro h $[m]$	3.4	h_t $[m]$	2.7
Peso específico γ_w	1.025	N_{od}	0.5

Tabla 12.-Datos de partida para el dimensionamiento de la sección del espigón 3.

Resultados (Van der Meer). Espigón 3.		
Número de estabilidad Ns	1.78	
Número de Iribarren $Irpo$	4.78	
	Manto único	
Diámetro $[m]$	1.10	
Peso $[tn]$	**3.533**	
Espesor $[m]$	-	
	Morro	**Pie del espigón**
Diámetro piezas $[m]$	1.26	0.289
Peso de las piezas $[tn]$	**5.30**	**0.064**
Ancho mínimo pie [m] $B_t \geq 3 \cdot D_{n50}$		0.867

Tabla 13.-Resultados obtenidos para el dimensionamiento de la prolongación del espigón 3.

Datos de partida. Espigón 4. Tipología: Manto sin filtro ni núcleo.			
Altura de ola [m]			
Hs	2.14		
$H_{2\%}$	2.99		
Talud $cotan(\alpha)$	1.5	**Manto único**	
Periodo de pico Tp $[s]$	8.5	**Talud exterior**	1.5
Tipo de piezas	Escollera	**Peso específico** γ_r $[t/m^3]$	2.650
Número de olas N	3000	**Número de capas**	2
Daño S $(inicio\ de\ avería)$	2.0	**Porosidad**	0.4
Permeabilidad P	0.60	**Berma de pie**	
Profundidad dato H_s $[m]$	4	**Altura berma** $[m]$	0.5
Profundidad máxima morro h $[m]$	3.5	h_t $[m]$	2.9
Peso específico γ_w	1.025	N_{od}	0.5

Tabla 14.-Datos de partida para el dimensionamiento de la sección del espigón 4.

Resultados (Van der Meer). Espigón 4.		
Número de estabilidad Ns	1.79	
Número de Iribarren $Irpo$	4.84	
	Manto único	
Diámetro $[m]$	1.05	
Peso $[tn]$	**3.105**	
Espesor $[m]$	-	
	Morro	**Pie del espigón**
Diámetro piezas $[m]$	1.21	0.255
Peso de las piezas $[tn]$	**4.66**	**0.044**
Ancho mínimo pie [m] $B_t \geq 3 \cdot D_{n50}$		0.765

Tabla 15.-Resultados obtenidos para el dimensionamiento de la prolongación del espigón 4.

5.3.4 OPTIMIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN Y SECCIÓN TIPO

Como se ha obtenido anteriormente, el manto principal del cuerpo de los espigones deberá estar compuesto por escollera de peso, como mínimo, de los siguientes pesos:

	PESO (tn) MÍNIMO OBTENIDO		
	CUERPO	MORRO	PIE
ESPIGÓN 1	3.55	5.32	0.047
ESPIGÓN 2	3.35	5.03	0.064
ESPIGÓN 3	3.53	5.31	0.064
ESPIGÓN 4	3.12	4.66	0.044

Tabla 16.-Pesos mínimos de escollera obtenidos para los espigones bajo la hipótesis de "inicio de avería".

Los espigones actuales, cuya prolongación se pretende, están constituidos por escollera de peso de 6 tn. Esto implica una posibilidad de aprovechamiento puesto que quedaríamos del lado de la seguridad al colocar directamente material de 6 tn de peso en el cuerpo de todos los espigones y no sólo en el morro.

Como ancho de la berma de pie se toma, para los tres espigones $B_t = 1.5\ m$, valor que cumple las condiciones mínimas obtenidas en los cálculos.

Como peso de escollera para la berma se toma $W = 100\ kg$, valor que cumple para todos los espigones con los mínimos necesarios anteriormente obtenidos.

La siguiente figura muestra la sección tipo de los espigones.

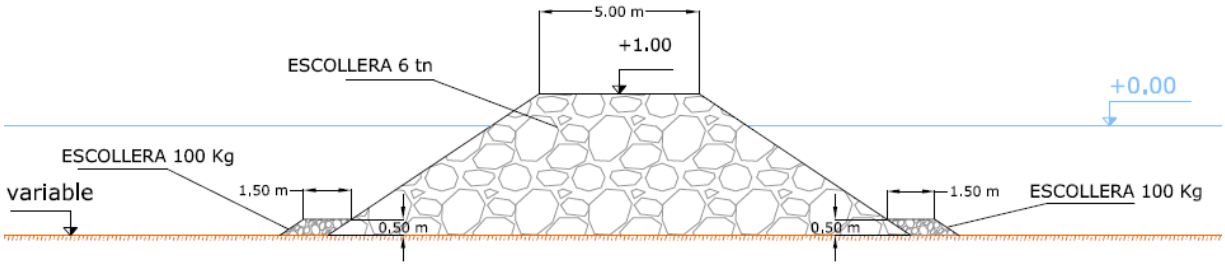


Figura 10. Sección tipo de los espigones (cuerpo y morro).

2.9.- Efectos del cambio climático.

1. ANTECEDENTES

El Reglamento General de Costas (aprobado por Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre) especifica en su artículo 93 que el Estudio de Dinámica Litoral incluirá un estudio de las dinámicas resultantes de los efectos del cambio climático. Además en su artículo 92 especifica que la evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en un periodo de tiempo que en el caso de obras de protección del litoral, puertos y similares será de un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud y que se deberán considerar las medidas de adaptación que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (actualmente, el Ministerio de Transición Ecológica) defina en la Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático.

El MAGRAMA ha financiado el proyecto llamado 'Cambio Climático en la Costa Española' (C3E), que diagnostica y proyecta los efectos del Cambio Climático en toda la costa española peninsular y sus archipiélagos de forma más detallada, y ha desarrollado diversas herramientas para integrar dichos efectos en las políticas y medidas de protección costera, las cuales pueden obtenerse en su página web. Los resultados de este proyecto están sirviendo de base para la elaboración de la "Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático", de acuerdo a lo dispuesto en la Disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

En relación con dicha Estrategia, la web del Ministerio anuncia que, a fecha de redacción del presente proyecto, se ha elaborado el Documento de inicio y el borrador de la Estrategia para iniciar la tramitación de la Evaluación Ambiental Estratégica de este documento. Los resultados del proyecto C3E se basan en buena parte en las conclusiones del estudio "Impacto en la costa Española por efecto del cambio climático" realizado por el GIOC por encargo del antiguo Ministerio de Medioambiente y la Oficina Española del Cambio Climático. De este estudio se han obtenido las tendencias de variación de las diferentes variables en la zona de estudio.

2. VARIACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA

En la Fase I-C del mencionado estudio se presentan los resultados de la evolución histórica de diferentes variables de la dinámica costera entre 1958 y 2001. Como se comenta en ese estudio, dichas tendencias pueden ser extrapoladas hasta el año 2050 con cierta fiabilidad.

Como resultados numéricos en la zona de estudio se han considerado los del punto 191 de la página web www.c3e.ihcantabria.com (con coordenadas -0,08º E, 39,78º N), por ser el más cercano, y que son los que se indican a continuación (valores del año 2010):

- Tendencia de la altura de ola significante media: $\delta Hs, media = -0{,}025\ cm/año$
- Tendencia de la altura de ola significante asociada a 12 h/año: $\delta Hs_{,12} = -0{,}565\ cm/año$:
- Tendencia de la dirección media del flujo de energía del oleaje: $\delta \Theta FE = +0{,}008\ °/año$
- Tendencia de la altura de ola significante asociada a T_R = 50 años: $\delta Hs_{,Tr50} = 0\ m/año$
- Tendencia del nivel medio del mar: $\delta \eta = +0{,}15\ cm/año$
- Tendencia de la marea meteorológica asociada a $T_R = 50\ años$: $\delta MM_{Tr50} = -0{,}288\ cm/año$

Las siguientes figuras muestran capturas tomadas del visor en el que se aprecian los puntos de estudio para algunas de las variables especificadas.

Figura 1. Vista del mapa de tendencias del valor medio del nivel del mar.

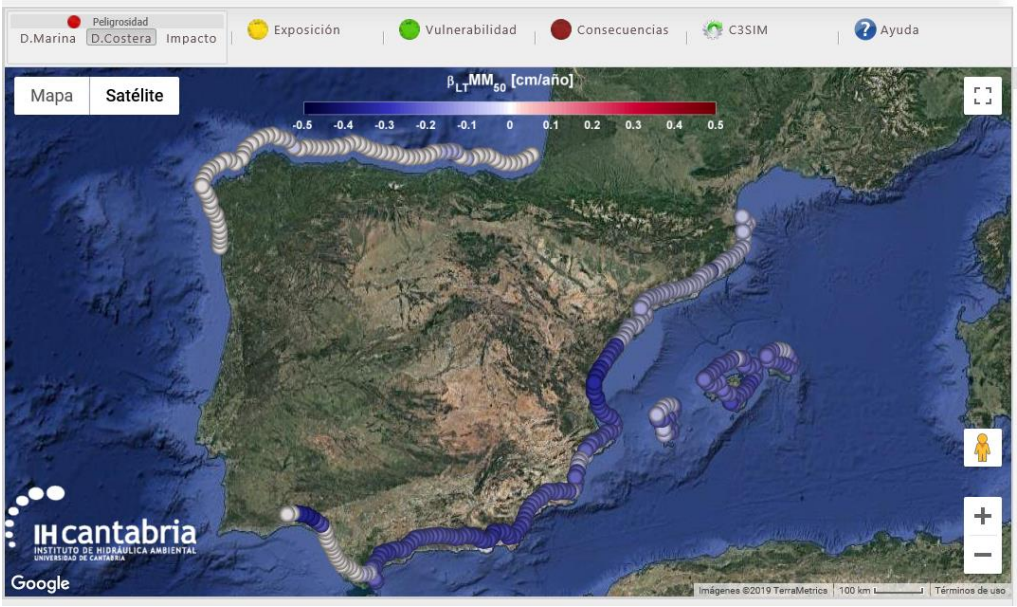


Figura 2. Vista del mapa de tendencias del valor medio de marea meteorológica para Tr=50 años.

Figura 3. Vista del mapa de tendencias del valor medio de Hs12.

Como se puede apreciar, la tendencia de variación tanto para la marea meteorológica como para la altura de ola significante Hs12 es negativa en la zona de estudio.

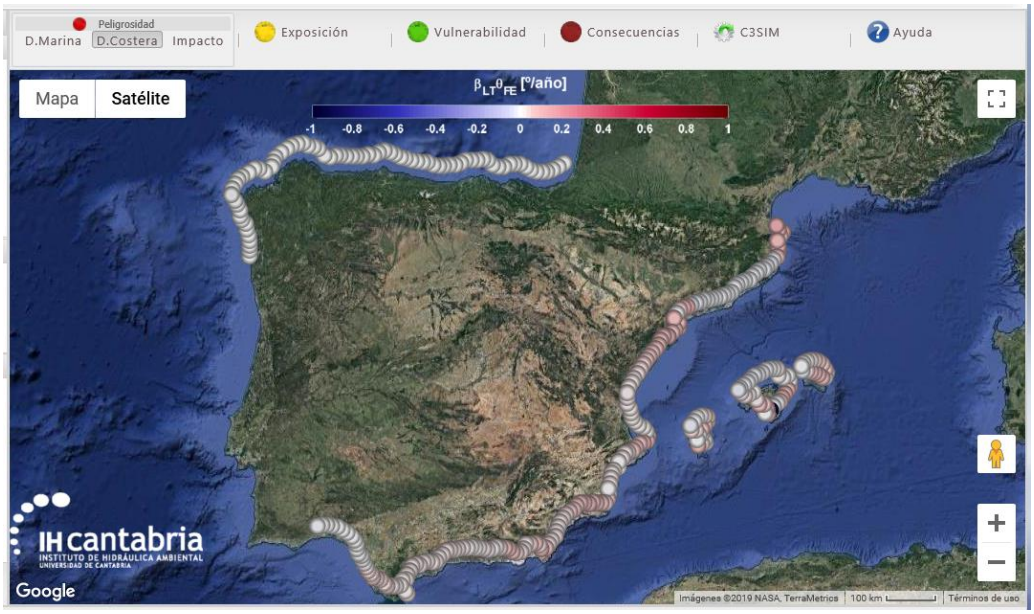


Figura 4. Vista del mapa de tendencias del valor medio de flujo medio de energía.

Como se puede apreciar, la tendencia de la variación del flujo medio de energía es positiva en nuestra zona de estudio.

De acuerdo con el Reglamento de Costas, el periodo de tiempo a considerar debe ser de al menos 50 años (en este caso y según se obtuvo por la ROM 0.0, el periodo de diseño es 68 años, esto es, año horizonte 2.086), por lo que (teniendo en cuenta que las tendencias se obtuvieron en el año 2010), la variación absoluta estimada de las anteriores variables respecto a sus valores extraídos del proyecto C3E serán:

- Incremento de la altura de ola significante media: $\Delta Hs, media = -1{,}9\ cm$
- Incremento de la altura de ola significante asociada a 12 h/año: $\Delta H_{s12} = -42.9\ cm$
- Incremento de la dirección media del flujo de energía del oleaje: $\Delta\theta FE = +0{,}608\ °$
- Incremento de la altura de ola significante asociada a $T_R = 50$ años: $\Delta Hs_{,Tr50} = 0\ m$
- Incremento del nivel medio del mar: $\Delta\eta = +11{,}4\ cm$
- Incremento de la marea meteorológica asociada a $T_R = 50\ años$: $\Delta MM_{Tr=50} = -21{,}9\ cm$

3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PLAYA DE ESTUDIO

3.1 INTRODUCCIÓN

La modificación del clima marítimo en la zona (representada por los valores presentados en el apartado anterior) se traduce fundamentalmente en tres efectos en las playas:

- Variación de la cota de inundación (ΔCI).

- Retroceso de la playa por el incremento del nivel del mar ($RE_{1,max}$).
- Retroceso de la playa por el giro del flujo medio de energía de oleaje ($RE_{2,max}$).

3.2 VARIACIÓN DE LA COTA DE INUNDACIÓN

La variación de la cota de inundación (ΔCI) puede obtenerse mediante la expresión:

$$\Delta CI = \Delta MM + \Delta\eta + 0{,}0396 \cdot \left(\frac{gT^2}{2\pi}\right)^{0.5} \frac{\Delta H_s}{\sqrt{H_s}}$$

siendo

- ΔMM la variación de la marea meteorológica ($\Delta MM = -0.219\ m$),
- $\Delta\eta$ la variación del nivel medio del mar ($\Delta\eta = +0.114\ m$),
- Hs la altura de ola significante asociada a una excedencia del 2 %, que se puede considerar equivalente a H_{s12} .En este caso tomamos el valor promedio correspondiente a las H_{s12} obtenidas a la profundidad de 5 m: $H_{s12} = 2.65\ m$ (véase Anejo de Dinámica Litoral)
- T el período pico asociado ($T = 8{,}5\ s$), y
- ΔHs la variación de la altura de ola significante asociada a la excedencia del 2 %, que consideramos equivalente a H_{s12} ($\Delta H_{s12} = -0.429\ m$).

A partir de la formulación indicada y los valores anteriormente especificados, se obtiene un incremento de la cota de inundación $\Delta CI = -0.216\ m = -21.6\ cm$.

3.3 RETROCESO DE LA PLAYA

En cuanto al máximo retroceso de la playa debido al incremento del nivel medio del mar $\Delta\eta$, puede ser cuantificado haciendo uso de la Regla de Bruun dado por la expresión:

$$RE_{1max} = \Delta\eta \frac{(1.57H_{s12})^{1.5}}{(0.51w^{0.44})^{1.5}(1.57H_{s12} + B)}$$

siendo

- $\Delta\eta$ es la variación del nivel medio del mar ($\Delta\eta = +11{,}4\ cm = 0.114\ m$)
- H_{s12} altura de ola significante local excedida 12 horas al año. En este caso tomamos el valor promedio correspondiente a las H_{s12} obtenidas a la profundidad de 4 m: $H_{s12} = 2.20\ m$ (véase Anejo de Dinámica Litoral)
- w la velocidad de caída del grano, que depende del tamaño del sedimento a aportar o existente ($D_{50} = 5\ mm$) .
- B es la altura de la berma, que se proyecta inicialmente en $B = +3.00\ m$.

A partir de las variables indicadas entre paréntesis se obtiene el máximo retroceso esperado por incremento del nivel del mar: $RE_{1max} = 0.68\ m$.

Finalmente, por lo que respecta al máximo retroceso y avance de la playa debido al giro del oleaje (RE_{2max}) en el caso de playas encajadas se producirán en los extremos de las playas y su valor dependerá de la variación de la dirección del flujo medio de energía ($\Delta\theta FE$) y de la longitud de la playa (L) a partir de la ecuación

$$RE2 = \frac{L}{2} tg(\Delta\theta FE)$$

En la solución adoptada se regeneran las tres playas encajadas en las celdas (playas numeradas como 1, 2 y 3 de norte a sur), por lo que se tienen tres valores de retroceso. Considerando el valor del incremento de flujo medio $\Delta\theta FE = 0.608^{o}$:

Playa	$L\ [m]$	$RE_{2max}\ [m]$
1	245.92	1.30
2	233.62	1.24
3	193.60	1.03

Tabla 1.-. Retroceso máximo por variación de flujo de energía para cada una de las playas proyectadas.

Una vez obtenidos los retrocesos de la playa, el valor máximo se obtendría sumando las dos componentes (por sobreelevación del nivel del mar RE_1y por giro del oleaje RE_2). Sin embargo, el retroceso medio de la línea de orilla se estima igual al valor de RE_1 ya que el valor de RE_2 varía a lo largo de la playa, pasando de retroceso en un extremo a avance en el otro.

3.4 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Los resultados de retroceso deberán ser tenidos en cuenta, de manera que el incremento de anchura que se proyecte sea al menos superior a dichos valores, de manera que la situación en el año horizonte no sea peor a la actual.

Se había tomado como anchura inicial mínima de playa seca 30 m en su punto más estrecho, lo cual está del margen de la seguridad puesto que cubre los posibles retrocesos futuros de la playa.

Por otro lado, la cota de inundación prevista, obtenida a partir del régimen extremal del Atlas de Inundación del Sistema de Modelado Costero es 2.61 m para un periodo de retorno de 68 años. El incremento de cota de inundación resultante es de valor negativo, por lo que, con la altura de berma proyectada inicialmente $B = +3.00\ m,$ se estará del lado de la seguridad.

2.10- Estudio patrimonial.

ESTUDIO DE IMPACTO PATRIMONIAL DEL

“P*royecto constructivo que permita estabilizar el frente litoral en el término municipal de NULES (Castellón)*”

Pilar Vallalta Martínez

Licenciada en Historia Antigua y Arqueología

MAYO 2019

INDICE

1. FICHA TÉCNICA
2. PROYECTO A EJECUTAR
   2.1 Antecedentes
   2.2 Objetivos
   2.3 Trabajos proyectados
      2.3.1 *Descripción del proyecto*
      2.3.2 *Movimiento de maquinaria y materiales*
      2.3.3 *Planos de los espigones y celdas proyectadas*
3. METODOLOGÍA
4. TERRITORIO DE ACTUACIÓN
      4.1 Ámbito físico
   4,2 Antecedentes históricos arqueológicos
   4.3 Yacimientos catalogados
      4.3.1 *Terrestres*
      4.3.2 *Subacuáticos*
      4.3.3 *Etnográficos y arquitectónicos*
5. RESULTADOS DEL IMPACTO PATRIMONIAL DEL PROYECTO
6. BIBLIOGRAFIA
7. CONCLUSIONES
8. FOTOGRAFÍAS.

1. FICHA TÉCNICA

1.1. TITULO DEL PROYECTO

El "P*royecto constructivo que permita estabilizar el frente litoral del término municipal de Nules (Castellón)*"

1.2. ÁREA DE INTERVENCIÓN

Denominación territorio: Playa de Les Marines, de unos 700 m de longitud de línea de costa.

Municipio: Nules, Castellón.

1.3. TIPO DE ESTUDIO

IMPACTO PATRIMONIAL

1.4. DATOS DEL PROMOTOR

*Administración que encarga el trabajo (PROPIEDAD)**:*** El Servicio Provincial de Costas de Castellón, a través de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar del Ministerio para la transición ecológica.

Empresa consultora redactora de los trabajos: UTE LES MARINES.

1.5. DATOS DE LA ARQUEÓLOGA REDACTORA

Pilar Vallalta Martínez

DNI 27430964Z

Licenciada en Historia Antigua y Arqueología por la Universidad de Murcia. Promoción 1982-86

Diplomada en Conservación y Restauración de Bienes Culturales por la ECR BBCC de Madrid

Dirección: C/ Isabel la Católica, nº 6. Murcia 30003

Teléfono: 657190256:

e-mail pvallaltam@a3asl.net

Técnico Arqueólogo y Restaurador de la Empresa: *Arquitectura, Trabajos de Restauración y Arqueología S.L.P.* con domicilio en Murcia

2. PROYECTO A EJECUTAR

2.1.ANTECEDENTES

El proyecto constructivo, básicamente desarrolla la alternativa adoptada en el "Estudio integral de alternativas de actuación del tramo del Puerto de Burriana – Puerto de Sagunto (Castellón Sur)", según el informe del CEDEX 22-414-4-002, para la zona II.1.2.

El proyecto está dentro de la propuesta de mejora de las playas con problemas erosivos e de inundabilidad costera, integrado en "Estudios de dinámica litoral, defensa y propuestas de mejora de las playas con problemas erosivos, considerando los efectos del cambio climático. En la estrategia de actuación del tramo de costa comprendido entre el puerto de Castellón y el puerto de Sagunto". Informe técnico redactado en 2015 para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría de Estado de Medio Ambiente, Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar.

Las zonas más perjudicadas son las que coincide un fuerte transporte de sedimentos con una zona urbana. Para ello se planteó la ejecución de varias propuestas de actuación para la mejora del litoral comprendido entre el Puerto de Castellón y el Puerto de Sagunto.

Con anterioridad las actuaciones para revertir esa erosión eran puntuales en zonas urbanas, pero esto provoca una mayor degradación y erosión en

zonas aledañas no urbanas. Por tanto, el presente proyecto es una parte de un conjunto que contempla la restauración del litoral desde el Puerto de Castellón hasta el Puerto de Sagunto.

Nuestra área de actuación comprende un tramo de la playa de Les Marines de Nules, situada al sur de la provincia de Castellón.

El municipio de Nules está ubicado en el sureste de la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Baja. El núcleo de población más importante es Nules que está situado en el interior, pero en la costa presenta dos playas:

La playa de la Alcudia al norte, de unos 1310m de longitud y una anchura de playa seca de 40 m. Esta tiene cerca del Parque Natural L'Estany y se delimita por el primer espigón al norte y el faro de Nules al sur.

La Playa de les Marines de 700m. de longitud delimitada desde el faro de Nules al norte, hasta el Camping al sur.

Como se ha descrito, la playa es larga y estrecha y más o menos mejorada por la presencia de más de media docena de espigones que permiten retener temporalmente los guijarros que la forman. La orientación geográfica hace que el transporte de sedimentos sea muy rápido, agravándose en negativo, con el aumento urbanístico de toda la costa y la menor aportación de estos por los ríos o golas cercanas.

En sus cercanías se ubica el Estany de Nules, una zona natural, muestra de lo que antes fueron grandes marjales hoy desaparecidas con la parcelación para agricultura.

Vista de la Playa de Nules

2.2. OBJETIVOS

Para conservar la integridad de la costa del término municipal de Nules, más concretamente de la Playa de Les Marines, es necesario llevar a cabo actuaciones de protección costera con la mejora de la contención de arenas con la construcción.

La solución proyectada supone dos actuaciones fundamentales: por un lado, la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el nuevo material de aportación (grava fina de $D_{50} = 5\ mm$) y, por otro, la regeneración de las playas existentes en las celdas litorales.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

El material de aporte para la regeneración es grava fina, con $D_{50} = 5\ mm$.

El propósito de las obras es minimizar lo más posible, la recesión de la costa respecto de los temporales y las elevadas tasas de regresión apreciadas desde hace años. A pesar de realizar reparaciones de urgencia, la costa no es sostenible por las elevadas tasas de regresión apreciadas, y se deben acometer actuaciones que consigan:

- Reducir la longitud de basculamiento de la orilla.

- Reducir la regresión generada por la depresión en la línea de costa.

- Regenerar la playa con aporte de sedimento.

- Alcanzar con el sedimento la anchura mínima de playa asegurando un resguardo mínimo en condiciones de temporal.

El objetivo del proyecto es: Restaurar las funciones de defensa de la costa de la playa de Nules y preservar y mejorar la calidad del entorno ecológico y artístico cultural de la zona, reduciendo la necesidad de aportes de arena periódicos.

Los objetivos de esta memoria de impacto patrimonial son: la delimitación del patrimonio inmueble terrestre y acuático, que pueda quedar afectado por la ejecución de los trabajos de construcción de los nuevos diques de contención del litoral de la playa Les Marines, del

municipio de Nules en la provincia de Castellón, y del movimiento y transporte de materiales desde las canteras a dicha costa.

2.3. TRABAJOS PROYECTADOS

2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La solución proyectada supone dos actuaciones fundamentales: por un lado, la prolongación de los espigones existentes hasta la longitud necesaria para contener el nuevo material de aportación (grava fina de $D_{50} = 5\ mm$) y, por otro, la regeneración de las playas existentes en las celdas litorales.

Las longitudes de los espigones que se plantean son las siguientes (espigones numerados de norte a sur):

- Prolongación del espigón 1 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 2 hasta 100 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 3 hasta 120 m de longitud en su lado norte.
- Prolongación del espigón 4 hasta 120 m de longitud en su lado norte.

El material de aporte para la regeneración es grava fina, con $D_{50} = 5\ mm$.

2.3.2 MOVIMIENTO DE MAQUINARIA Y MATERIALES

Los residuos generados se llevarán a vertedero autorizado. En las proximidades existen tres y cualquiera de ellos podrá ser utilizado, generando un flujo de movimiento de maquinaria pesada utilizando el sistema de calles, caminos y carreteras existentes actualmente:

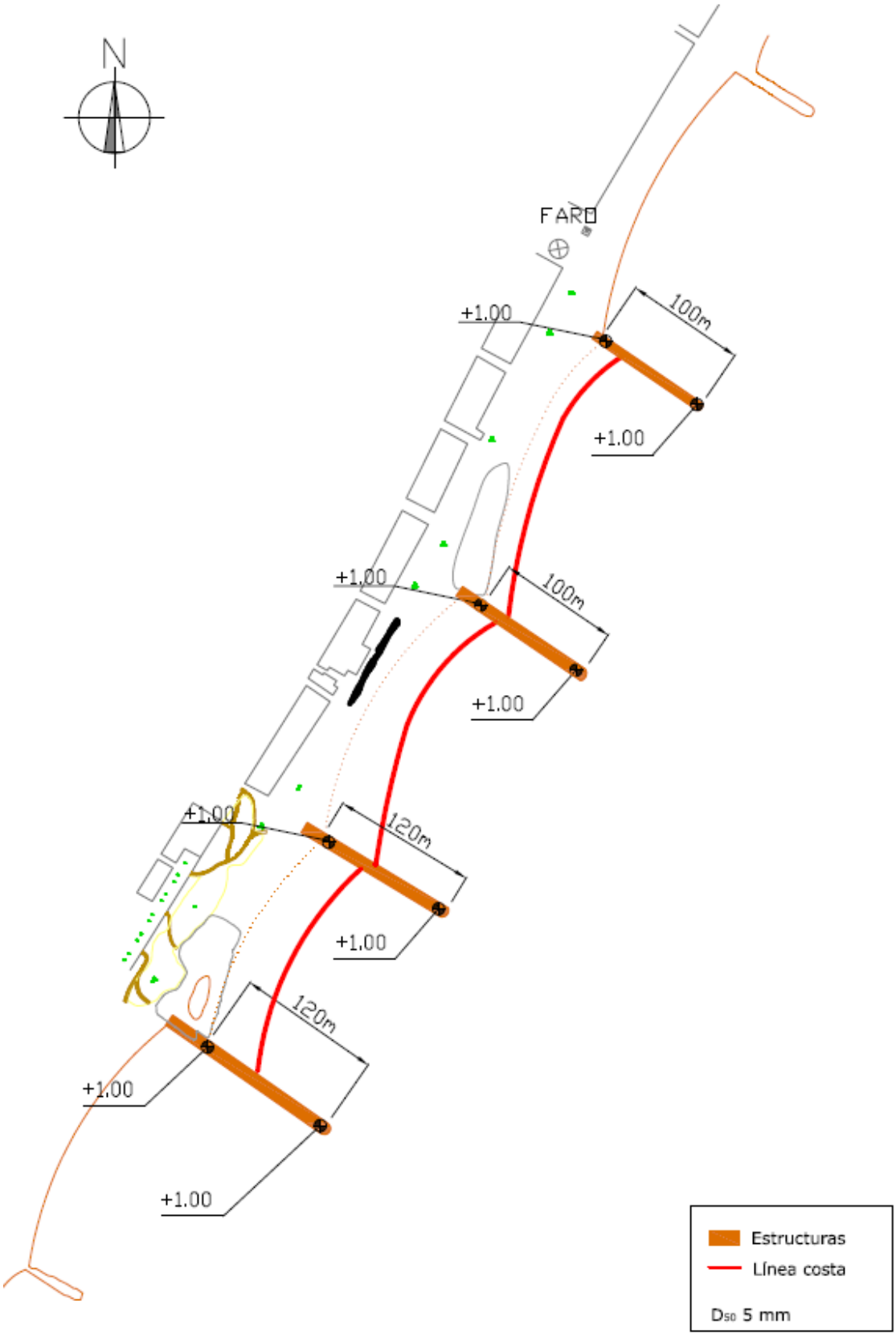
Los vertederos indicados como más cercanos son:

- Ferruses, C/ Teruel 30, Sagunto.
- Áridos Mijares, S.L. Ctra. Onda S/n. Onda.
- Atomix, S.A. C/ Navarra. Onda.

Para la aportación de grava y áridos se puede utilizar la cantera situada en las proximidades de La Rambla de la Viuda (San Joan de Moro), *Áridos Monfort* a unos 50 km de la zona de actuación. Esta cantera cuenta con todos los permisos necesarios para su uso, y aunque las distancias de transporte son superiores a las arenas procedentes de un yacimiento marino, los impactos sobre la geología-geomorfología se consideran inferiores. Otra cantera que también tiene todos los permisos es *Triturados Elcano*, en la Carretera Lliria-Alcublas, km. 33. Casinos, la cual posee suficiente volumen de áridos para abastecer la presente actuación.

PLANOS DE LOS ESPIGONES Y CELDAS PROYECTADAS

En la página siguiente se describe gráficamente la solución proyectada.


N
FARO
+1.00
100m
+1.00
+1.00
100m
+1.00
+1.00
120m
+1.00
120m
+1.00
+1.00
Estructuras
Línea costa
D50 5 mm

3. METODOLOGÍA

Para obtener un conocimiento previo del entorno de nuestro ámbito de actuación, se ha llevado a cabo una recopilación de toda la bibliografía disponible sobre yacimientos y sitios históricos de la Plana Baixa de Castellón, la consulta al Inventario de yacimientos arqueológicos de la Generalitat Valenciana, y al Inventari general del Patrimoni cultural Valencià.

Hemos tenido contacto para ampliar documentación y nuevas informaciones, datos o supervisiones arqueológicas o patrimoniales no publicadas a los siguientes técnicos de la Generalitat de Valencia:

- Asunción Fernández Izquierdo, Directora del Centre d´Arqueologia Subaquàtica Valenciana

- José Luis de Madaria, arqueólogo técnico de la Dirección Territorial de Cultura de Valencia. Conselleria de Cultura de la Generalitat Valenciana.

- Josep Casabó, Arqueólogo técnico de la Unitat de Patrimoni Històric-artísitc de la Conselleria de Cultura de la Generaliltat Valenciana y Director del Museo de la Valltorta.

La construcción de los espigones requiere de una supervisión arqueológica, en los tramos donde se realice movimiento de arenas. La regeneración de las playas de las celdas entre espigones nuevos será con arena reutilizada, es decir se pretende extraer la existente y recolocarla previo cribado, en zonas diseñadas y acotadas en proyecto.

El aporte de árido nuevo será extraído de canteras totalmente legales en posesión de todos los permisos necesarios para su uso.

4. TERRITORIO DE ACTUACIÓN

4.1 ÁMBITO FÍSICO

Las actuaciones se desarrollarán en la comarca de la Plana Baja, perteneciente a la provincia de Castellón de la Comunidad Valenciana. Se actuará sobre una parte del litoral del municipio de Nules, en concreto en la playa Les Marines.

Se actuará sobre la costa, concretamente sobre la extensión de la playa Les Marines de Nules de 700 m de longitud, desde el faro al norte y el camping al sur.

Espigones 1 y 2

Espigones 3 y 4

4.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS ARQUEOLÓGICOS

Nules está ubicado en el corredor litoral mediterráneo, en el sur de la comarca de La Plana Baixa, provincia de Castellón. La Plana es una depresión de forma triangular de 40 km de longitud desde Benicasim hasta Almenara por la línea de costa. Esta depresión conforma una planicie compuesta de depósitos fluviales producidos por los ríos Millars, Sonella, Bellcaire y Sec de Bexit además de varios barrancos. La zona costera está ocupada en su mayor parte por marismas y albuferas producidas por la depresión y una línea de costa de grava que dificulta el desagüe al mar de las aguas arrastradas por estos ríos. La zona que estudiamos en esta memoria está ocupada en parte por el Estany de Nules al norte. En esta zona de marjal o albufera se situaban los pujolets o pequeñas elevaciones de terreno que sirvieron de emplazamientos de época ibérica y romana, que posteriormente fueron desapareciendo en las remodelaciones agrícolas del siglo XIX. Estos pujolets de la zona costera fueron recogidos en un informe de 1867 realizado por la Comisión Provincial de Monumentos, cuando habían prácticamente desaparecido, aunque algunos pudieron ser excavados.

El municipio de Nules está dentro de un espacio de origen íbero-romano, muy ligado a la Via Augusta, que atravesaba el territorio longitudinalmente, paralelo a la costa. Su trazado no se conoce con exactitud, pero emerge desde el valle de Borriol por el Camino Real para dirigirse hacia la zona de Vila-Real y desde allí conectar con Almenara. En la zona geográfica desde Xilxes a Sagunto, la vía Augusta debe coincidir o tener un trazado próximo a la carretera nacional N-340, y unirse al Caminàs.

La ruta de la Vía Augusta: indicada en el artículo de Gusí, F., Fernández, Mª A., Fernández, Mª A. "El patrimonio histórico-arqueológico de Castellón y su explotación turistica: perspectivas de futuro", donde señalan planimátricamente en color verde su itinerario alejado de la costa que nos ocupa.

El Caminàs, debería ser un camino importante paralelo a la vía Augusta, por su denominación en aumentativo. Este camino que descendía desde Oropesa, se dirigía a Borriana y Almenara para unirse con la Vía augusta. Debió ser tan importante como la vía Augusta.

Las fuentes escritas de época romana son escasas y siempre referentes a Sagunto y su poblamiento rural cercano. El poblamiento de esta franja costera en época romana, era de carácter rural diseminado con la presencia de *fundi* o villas, comunicadas entre sí por esta vía.

Cabe destacar cuatro yacimientos de época romana en el término municipal de Nules: la Villa romana de Benicató, excavada por Porcar e1973 y por Gusi en 1974, L´Alter de l´Alcúdia, El Rajadell, El Tossal y Villa de Torremotxa con excavación puntual sin publicar su estudio. Todos situados al interior, lejanos de la línea de costa más de 2 km.

En el año 1178 aparece por primera vez el topónimo Nules, documentado como “Nullis cum suis terminis” indicando que este lugar está dentro de los límites de la diócesis de Tortosa. El topónimo se refiere al castillo de Nules, sito en la actual Vila Vella, donde los árabes en 1238 lo rindieron al rey Jaime I. Después el mismo rey lo entregó a Guillem de Montcada que fundó

en el mismo sitio la Pobla de Moncofa y posiblemente la fundación más alejada de la Pobla de Nules. El privilegio otorgado por Jaime I al territorio del Castillo de Nules de la utilización del agua del rio Millars, hace posible la transformación agrícola de la zona y el establecimiento de nuevos pobladores y su crecimiento.

Pero es en el año 1316 cuando el rey Jaime II confirma a Gilabert de Centelles, yerno de Montcada la fundación de Nules. En este momento el Señor de Nules tiene gran influencia en la corte del rey Pedro el Ceremonioso, que el concede derecho de aguas, mercado, embarcadero y feria anual. En 1375 se autoriza la fortificación de la villa ante la invasión de los Castellanos.

En 1582 la Villa se convierte en villa real por sentencia de Felipe II, otorgándoles poder civil y criminal de toda la Baronía. Pero la expulsión de los moriscos de la Baronía hizo que perdiera gran número de población y tributos, por lo que el rey devolvió el título al Marquesado de Nules.

Es importante la contienda que entre puebles cercanos había por el derecho de aguas. Nules y Borriana compartían el agua del Millars con una acequia común hasta su separación en 1878. Este hecho fué el inicio de la transformación geográfica del municipio. Todo el término desde la Villa hasta las montañas se transformó en arrozales y posteriormente en naranjales y tejido industrial. La aportación de tierras y la roturación constante de los cultivos desde el siglo XIX, enmascara grandemente los posibles asentamientos o yacimientos históricos romanos e ibéricos, aunque estos últimos, que suelen hallarse en lugares altos y protegidos estratégicamente, habrían desaparecido en su mayoría.

Los arrozales causaron grandes cambios en el paisaje de la zona de la que tratamos en esta memoria. Fue desde la segunda mitad del siglo XVIII cuando se impone este cultivo en la comarca, siendo un producto básico en

la alimentación de la población y en la exportación comercial. Los marjales se transformaron en zonas de tierra y poco a poco se fue desecando la zona por la escasez del agua.

Como vemos desde la conquista cristiana de la zona hasta comienzos del siglo XX, en hábitat rural disperso característico de los musulmanes, pasa a un hábitat de parcelación minúsculo y fragmentado, con núcleos de población concentrado y de mayor densidad. La parcelación agraria de regadío y posteriormente de arrozales va en consonancia con la estructuras familiares y sistemas hereditarios de multiplicación de pequeñas explotaciones como alquerías, masías, etc.

En la actualidad la naranja es el cultivo de todo el término, aunque hay sectores especializados en productos de verano. Pero en los últimos años el sector económico se ha diversificado hacia otros campos como el industrial, con un auge del sector cerámico con la creación de grandes empresas.

4.3. YACIMIENTOS CATALOGADOS

4.3.1. TERRESTRES

Los yacimientos de la Plana Baixa se pueden separar en dos ecosistemas o formas de hábitat en general: Los yacimientos de época prehistórica y medieval suelen localizarse en zonas de montaña o elevadas, mientras que la mayoría de los yacimientos romanos los encontramos en el llano.

Los yacimientos registrados en la carta arqueológica de la Generalitat Valenciana, y los localizados por referencias bibliográficas, situados en la zona geográfica que ocupa nuestra memoria son:

1- L´ALTER DE L´ALCÚDIA: Situado a 50m al este del Caminás y a 3,1 km de la costa. Yacimiento de reducidas dimensiones en un pequeño cerro de origen artificial. Está muy transformado por las continuas actuaciones de labranza y regadío. No hay restos arquitectónicos aunque hay referencias a la existencia de muros antiguos en el siglo XIX, y los materiales encontrados nos dan un hábitat prehistórico de industria lítica y con posteriores asentamientos al hallar cerámicas ibéricas, romanas y medievales. Hay una inscripción dedicada a Marcus Tettienus Pollio que puede haber aparecido allí y que se encuentra en el campanario de la iglesia de Mascarell. No ha contado con excavación arqueológica y solo es conocido por el material encontrado en superficie.

2- EL RAJADELL: Está disuado el yacimiento a las afueras de Moncofa, en una alquería a 1,5 km de la costa. Se descubrió en 1987 al realizar labores agrícolas y ha sido muy tocado por los furtivos durante años. No se conocen restos arquitectónicos y tan solo se aprecian restos de tégulas y cerámica que correspondería con una villa de época imperial o tardorrepublicana.

3- EL TOSSAL: Está situado sobre una pequeña colina pedregosa en medio de la planicie, a 7 km de la costa y a 4 km del Caminás. Dicha colina fue casi destruida por una cantera en los años 60 del siglo XX. Parece un asentamiento de época imperial, pero los escasos materiales recogidos nos permiten una datación iberorromana del siglo II al I a. de C.

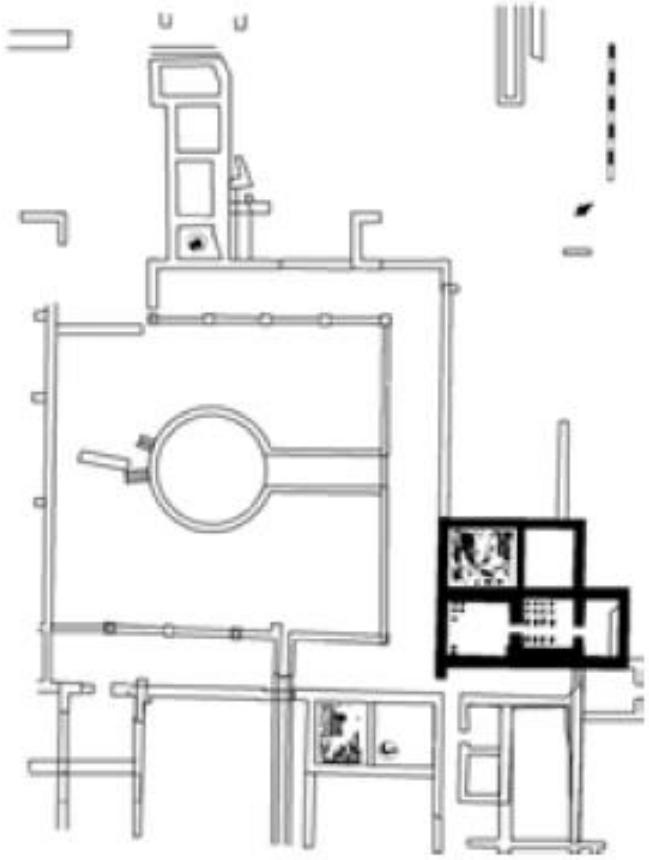
4- VILLA DE BENICATÓ: Villa romana junto al camino de Viciedo, a 500m de la vía Augusta y a 700m al sieste del Caminás. Esta separado del mar a 2,5 km. Es un yacimiento conocido desde 1888, cuando fue hallado por un médico. Está ubicado en el Pujol de Benicató, que en esas fechas se estaba rebajando para uso agrícola de las tierras. Las primeras excavaciones las

efectuaron Codina y Porcar en 1956. Pero en 1973.74 Gusi permite documentar una importante villa de época imperial con una cronología de los siglos II y I a. de C. La plana es cuadrangular con piscina circular en el centro, rodeada de 17 habitaciones, pavimentadas dos de ellas con mosaicos de los que uno fue destruido por un tractor y el otro se extrajo para su exposición en el Museo Provincial.

Las excavaciones de Gusi en 1973-74 limpiaron la zona, documentaron la estratigrafía y realizaron trabajos de conservación de los restos. Se documentaron 13 habitaciones más, lo que resulta una Villa de 30 estancias organizada alrededor de un gran patio central, con un total de 594,45 m2, distribuida con parte residencial al este y parte rústica al oeste. Tenía baños con cinco estancias con opus signinum estudiadas por García Entero. Las estancias residenciales estaban decoradas con estucos pintados y mosaicos de teselas en blanco y negro.

Es uno de los yacimientos más importantes de La Plana por cantidad y calidad de los materiales encontrados, que se encuentra depositados en SIAP de Castellón, el Museo Arqueológic de Burriana y el Museu Històric de Nules.

Tiene una cronología desde el siglo II a. de C. hasta principios del siglo IV de nuestra era. Probablemente se tratará de un Funduz de dimensiones medianas con una extensión de 1,5 a 2 hectáreas para producción agrícola, que podría lindar con otras funduz que señalamos como los yacimientos de EL Rajadell, y el L´Alter de l´Alcúdia.



5- TORREMOTXA: Bajo este topónimo se recogen tres yacimientos. El alfar de una villa romana, una necrópolis romana de la misma villa y una torre califal situada sobre la necrópolis. Ha tenido una actuación de urgencia para documentar los niveles de la necrópolis y la fase islámica, pero los restos conservados pertenecen a la villa romana, de la que se ha estudiado una pequeña parte.

6- LA GOLETA: Posible villa romana documentada por material cerámico de superficie. Al con contar con una actuación arqueológica desconocemos su extensión.

7- CAMÍ REAL: Posible villa romana documentada por cerámica en superficie y por tanto desconocemos su extensión.

8- MASCARELL: Poblado amurallado situado en la pedanía de Nules, con origen en una alquería musulmana amurallada durante la conquista cristiana. Con cronología medieval.

9- EL SECANET. Posible villa romana documentada por restos cerámicos y numismáticos en superficie. Con una cronología del siglo I al III D. C. NO ha tenido actuación arqueológica.

10- CAMÍ NOU: Posible villa romana, aunque con escasos restos cerámicos hallados. Está junto al Caminas.

4.3.2. SUBACUÁTICOS

No hay constancia de ningún tipo de yacimiento o pecio en el frente litoral de las playas de Nules.

En el articulo "Estudio de los restos arqueológicos submarino en las costas de Castellón" de Dña. Asunción Fernández izquierdo, presenta un intenso estudio de todo el material submarino procedente de la costa castellonense, desde el río Cenia al norte hasta la sierra de Almenara al sur.

Los datos recopilados desde 1977 hasta la actualidad, nos presenta la costa de Nules con las siguientes indicaciones: *"La playa de Nules se continúa con la de Burriana, está formada por piedras y arenas en donde antiguamente abundaban los marjales y albuferas que se continuaban sin interrupción hasta Els Estanys d´Almenara."*

Los fondos son lisos sin promontorios ni depresiones hasta la línea de 50 metros mar adentro. Los restos arqueológicos submarinos más cercanos a la zona que tratamos son los hallazgos frente a la desembocadura del río Fonfreda, mucho más al norte.

No obstante, con la finalidad de conocer directamente si existen o no restos arqueológicos en el ámbito de nuestra actuación, se ha procedido a realizar **fotografías submarinas, en una malla imaginaria de 50 x 50 m** las cuales se adjuntan en el **anejo 8 del presente trabajo**. Tras visualización de las mismas, no hemos podido localizar ningún yacimiento subacuático.

4.3.3. ETNOGRÁFICOS Y ARQUITECTÓNICOS

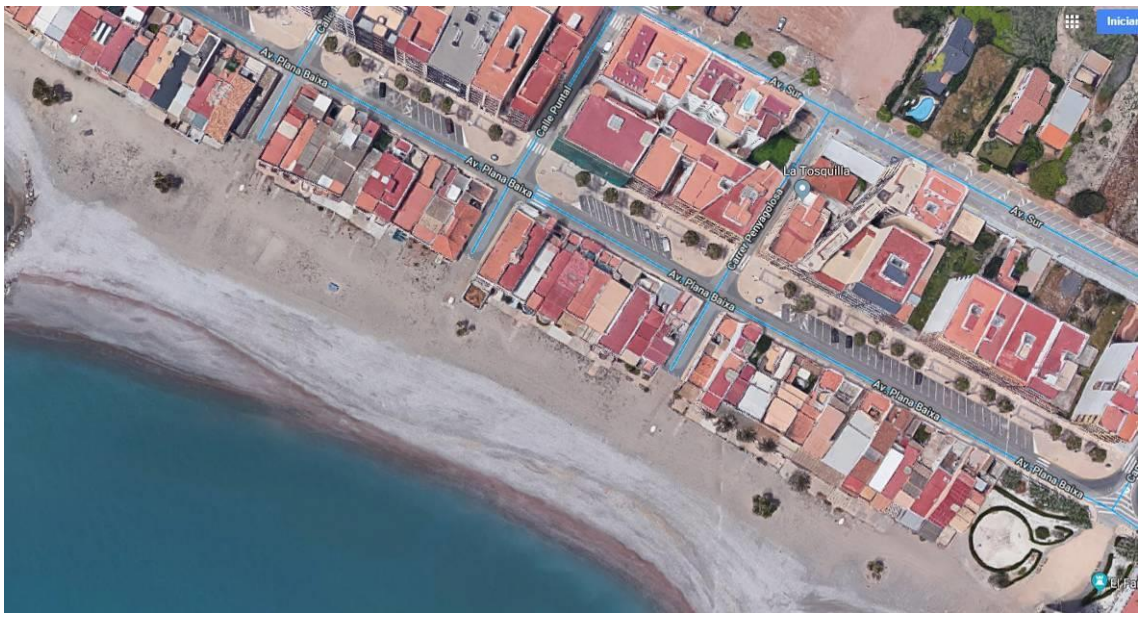
Los lugares de interés en la línea de playa de Nules en la actualidad son:

LES CASETES

La primera línea de playa de Nules está cubierta en parte por una serie de casas de planta baja llamadas CASETES. Estas casas construidas desde los años 30 del siglo pasado, están afectadas por la ley de costas, pero desde un punto de vista patrimonial, pueden ser protegidas en el futuro inmediato, ya que representan una tipología de arquitectura rural valenciana y en el caso de Nules se las considera como el casco histórico del poblado costero.

En marzo de 2018 la Comisión de Obras Publicas de las Corts Valencianas, sacaron una Proposición No de Ley para apoyar la declaración de interés público de dichas casetes, como primer paso para su protección. Pero a fecha actual no se ha concretado protección alguna, por lo que la Ley de Costas sigue adelante para su derribo. El Ayuntamiento de Nules plateó la posibilidad de declarar Les casetes de interés cultural o de relevancia local, pero la Consejería de Cultura consideró que 240 viviendas no reunían las características para lograr dicha distinción.

Estas casas, por la situación espacial y la zona que ocupan dentro de la propia playa, pueden ser afectadas por los trabajos de regeneración y construcción de las escolleras.



Distribución de Les Casetes en la línea de playa

5. RESULTADOS DEL IMPACTO PATRIMONIAL DEL PROYECTO

El proyecto constructivo que permita estabilizar el frente litoral del municipio de Nules (Castellón), se va a desarrollar en la línea de costa que comprende la playa Les Marines. En total se estabilizará una línea de costa de unos 700 metros.

En la primera parte de la memoria, se han recopilado todos los documentos y datos arqueológicos de la zona. Se ha ubicado cada yacimiento o elemento arquitectónico protegido en plano.

Todos los yacimientos y elementos patrimoniales protegidos están situados a gran distancia de la zona de actuación del proyecto de construcción de espigones en la costa. Tan solo la escasa posibilidad de protección de les casetes afectaría a la ejecución de las obras.

Hemos estudiado que todo el espacio costero del municipio de Nules ha sido intensamente remodelado, por el hombre y por el clima. Los asentamientos

poblacionales siempre han estado en el interior y nunca junto al mar hasta mitad del siglo XX. El auge poblacional de la zona de actuación se generó a partir de los años 60 con motivo del turismo, aunque ya había asentamiento de veraneo desde 1930.

Los resultados de las consultas de la carta arqueológica y del inventario de bienes patrimoniales de la Generalitat Valenciana, son negativos en referencia a la presencia de yacimientos o construcciones que pueden ser afectados por las obras proyectadas para la estabilización del litoral.

Todo el territorio de Nules tuvo dos procesos imparables que produjeron un cambio drástico del territorio: La desecación de los marjales y humedales en el siglo XIX con una continua reparcelación agrícola y posteriormente el desarrollo turístico en la costa.

Una vez aclarada la ausencia de elementos a conservar en la zona de actuación, debemos desarrollar el posible impacto que de derivaría del transporte de los materiales de construcción y el movimiento de maquinaria pesada. La trayectoria de transporte de los materiales por la zona próxima a la línea de costa se señala en el esquema-foto situado a continuación, donde se aprecia que los espigones están frente a calles actuales, por lo que afecta mínimamente a las viviendas de a la primera línea de playa.

El transporte de la grava y áridos con los que se construirán los espigones, se realizará en camiones de variado tonelaje, utilizando siempre, las carreteras convencionales y el trazado urbano existente desde las canteras y vertederos, señalados en el capítulo 2 de esta memoria, hasta la playa.

5.1. SUPERVISIÓN ARQUEOLÓGICA

El tipo de obra a ejecutar no precisa de una excavación arqueológica previa, ya que en los resultados de esta memoria de impacto patrimonial no se tiene constancia de yacimiento o restos arqueológicos en la zona de actuación.

Al estar proyectado el desmonte de las escolleras y la reutilización de las arenas de la propia playa, lo que implica trabajos de movimiento de tierras,

es perceptivo que se realice una supervisión arqueológica durante la ejecución de las obras, pues la legislación vigente así lo determina. No creemos que una prospección visual de la zona dé resultados positivos, ya que es un espacio que ha sido muy remodelado durante años y muy usado por el turismo, y si hubiera cualquier resto o vestigio arqueológico sería conocido.

Sí creemos necesaria la supervisión arqueológica, como forma preventiva durante la ejecución de la obra de desmonte y reutilización de las arenas de la playa, aunque no sea una zona de posible afección a yacimientos arqueológicos.

La documentación presentada nos da resultados negativos sobre la existencia de restos arqueológicos en la playa de Les Marines de Nules, y la Consellería y la Dirección General de Patrimonio se limitaría a la exigencia de realizar un seguimiento arqueológico de las obras, pero no se descarta que, ante cualquier posible aparición de resto material o constructivo durante las obras, sea necesario una excavación previa por sondeos puntuales.

El seguimiento arqueológico conlleva la presencia de un arqueólogo titulado a pie de obra, con el fin de documentar en todo momento, la aparición de restos materiales susceptibles de ser estudiados o incluso conservados. Una vez terminados los trabajos se presentará una memoria con los resultados obtenidos

En caso de localización o descubrimiento de restos arqueológicos, será debidamente comunicado a los técnicos de la Consellería y estos señalarían

la actuación arqueológica a adoptar (Excavación sistemática por sondeos, excavación de toda la superficie, etc.).

Si la dirección General de Patrimonio lo considera necesario, previamente deberá redactarse un Proyecto de Excavación firmado por un arqueólogo titulado y la tramitación de la documentación pertinente.

6. BIBLIOGRAFIA

Alagarda Huguet, J. Proyecto básico de regeneración costera de la fachada marítima de Nules (Castellón). Trabajo final de máster. Universidad Politécnica de Valencia. 2018.

Arrasa Gil, F. "Instalaciones de producción de vino y aceite en le litoral castellonense" en De vino et oleo Histaniae. Murcia 2011-12.

Arrasa, F. y Rosselló, V. Les vies romanes del territori valenciá, Valencia 1995

Esteve i Gálvez, F. La vía romana de Dertosa a Sauguntum. Castellón 2003

Fernández Izquierdo, A., “Estudio de los restos arqueológicos submarinos en las costas de Castellón”, Cuadernos de Prehistoria y Arqueología Castellonense 7, Diputación de Castellón, 1983.

García Fuertes, JM., Moraño Poblador, I. Apendice 4: Memoria patrimonio cultural y arqueológico del "Proyecto informativo de planta de ósmosis de Moncófar y mejora de gestión de aguas salobres en el sur de la comarca de La Plana (Castellón).

García Fuertes, JM., Moraño Poblador, I. "Torremotxa (Nules, Castellón) posible atalaya de época andalusí" en Quad. Preh. Arq. Cast. nº 34. 2016.

Gusi Jener, F. y Olaria de Gusi, C. "La Villa romana de Beniato (Nules Castellón)". Diputación de Castelló: Servei d´investigacións Arqueológiques i Prehistóriques. 1977

Gusí, F., Fernández, Mª A., Fernández, Mª A. "El patrimonio histórico-arqueológico de Castellón y su explotación turistica: perspectivas de

futuro" *Cuadernos de prehistorica y arqueología Castellonense*, 26. Castellón 2008

Járrega Domínguez, R. *El poblamiento de La Plana en la época romana.*, Diputación de Castellón 2010.

Llobregat, E. A., "La perduración de un topónimo de la via Augusta: Lubricatum/Rahal Al-Lobrecati /TUrris de Lubricato" en http://www.cervantesvirtual.com/descargaPdf/la-perduracion-de-un-toponimo-de-la-via-augusta-lubricatum--rahal-al-lobrecati--turris-de-lupricato/

Ministerio de Agircultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Estudios de dinamica litoral, defensa y propuestas de mejora en las playas on problemas erosivos, considerando los efectos del cambio climático. Estratagia de actuación del tramo de costa comprendido entre el Puerto de Castllón y el Puerto de Sagunto (Castellón sur)*. Informe final. Madrid 2015.

Morote Barberá, J.G. "El trazado de la Vía Augusta desde Tarracone a Carthagine Spartaria: Una aproximación a su estudio" en Saguntum. *Papeles del laboratorio de Arqueología de Valencia, 14*. Valencia 1979.

Obiol Menero, E.M., "Desecaciones, arroz y demografía en el s. XIX. EL caso de "Els Estanys" de Almenara" en *Cuadernos de Geografía 55*, Valencia 1994.

Ayuntamiento de Nules. Historia. http://www.nules.es/es/content/historia

Historia de la baroní y marquesado de Nules.

https://www.elperiodicomediterraneo.com/noticias/comarcas/historia-baronia-y-el-marquesado-nules_56237.html

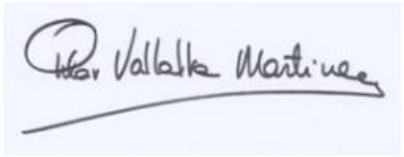
7. CONCLUSIONES

En el espacio geográfico del litoral Castellonense, donde se acometerá la actuación de construcción y alargamiento de escolleras y diques en 700 metros de longitud que ocupa la Playa de Les Marines en el municipio de Nules**, no se ha encontrado hasta la fecha, tras la consulta de documentación y la realización de fotografías submarinas, ningún tipo de yacimiento arqueológico, etnográfico o yacimiento arqueológico subacuático.**

La documentación estudiada y las consultas a las cartas arqueológicas y los inventarios etnográficos y patrimoniales propiedad de la Generalitat Valenciana, nos confirman la inexistencia de restos arqueológicos o bienes culturales inmuebles en la zona de actuación.

Tanto los yacimientos catalogados como los Bienes Culturales inmuebles están concentrados alrededor en la ciudad de Nules, que distan de nuestra zona de actuación más de 3 km en línea recta.

Castellón, mayo de 2019



Pilar Vallalta Martínez

UTE LES MARINES

8.- FOTOGRAFÍAS

Con la finalidad de conocer si existen restos arqueológicos en el fondo marino del ámbito de nuestro proyecto, se procedió a diseñar una red mallada imaginaria de 50m x 50 m en la que se tomaron fotografías submarinas, las cuales se adjuntan a continuación.

No se hallaron restos arqueológicos.

Imagen representativa de las B1, D1, F1, G1, G2, G4

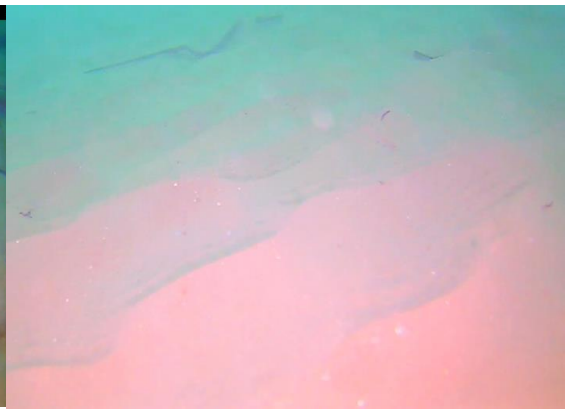


Imagen representativa de las A2, B2, C2, D2, E2, F2, E3, A4, B4, C4, D4, E4, F4

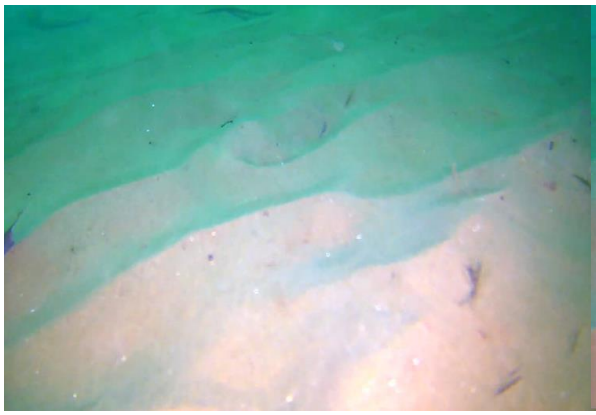


Imagen representativa de las B5, D5, F5, G5, B6, D6, F6, G6

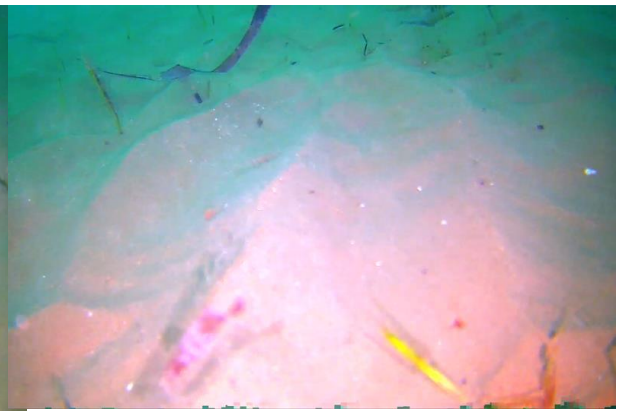


Imagen representativa de las B7, D7

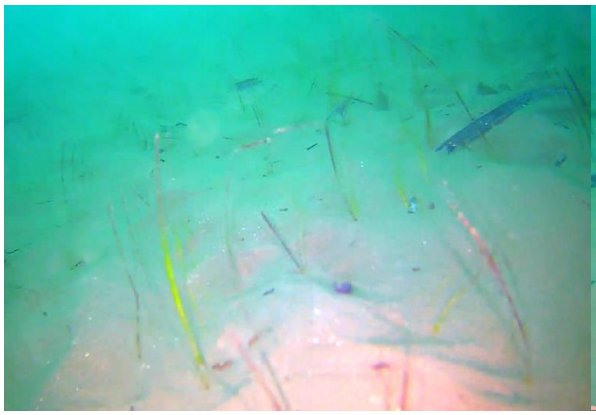


Imagen representativa de las F7, G7

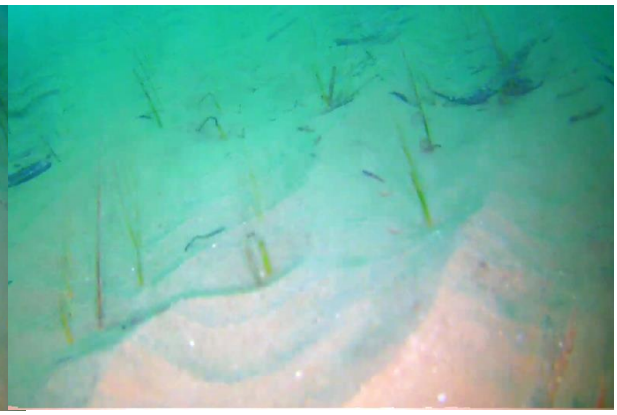


Imagen representativa de las F9, G9

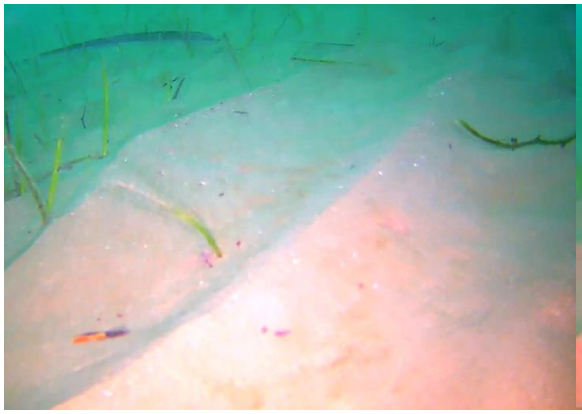


Imagen representativa de las B10. B11. B12. D10, D11, D12

Imagen representativa de las F10, F11, F12, G10, G11, G12, G13

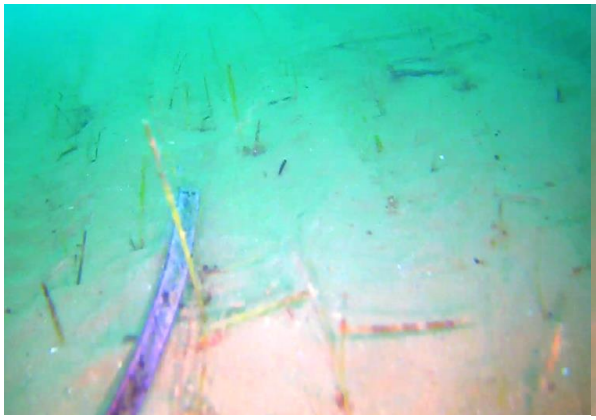


Imagen representativa de las B16, B17, B18, D16, D17, D18, F16, F17, F18

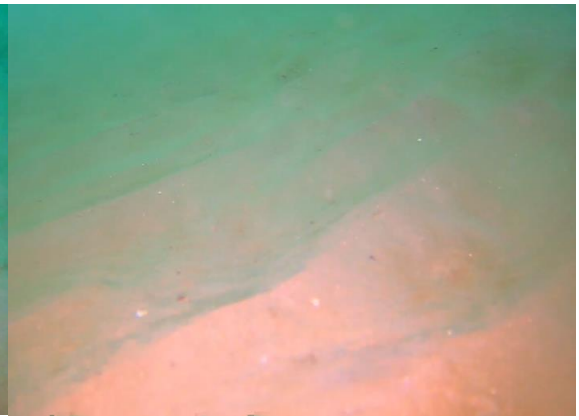


Imagen representativa de las A8, B8, C8, D8, A9, B9, C9, D9

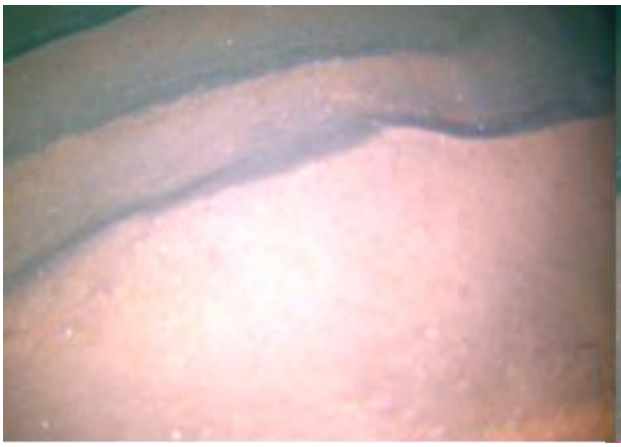


Imagen representativa de las A13, B13, C13, D13, E13, F13, E14, A15, B15, C15, D15, E15, F15

Imagen representativa de las G15, G16

Imagen representativa de las G17, G18, G19

Imagen representativa de las B19, C19, D19

Imagen representativa de la G19

Imagen representativa de la F19

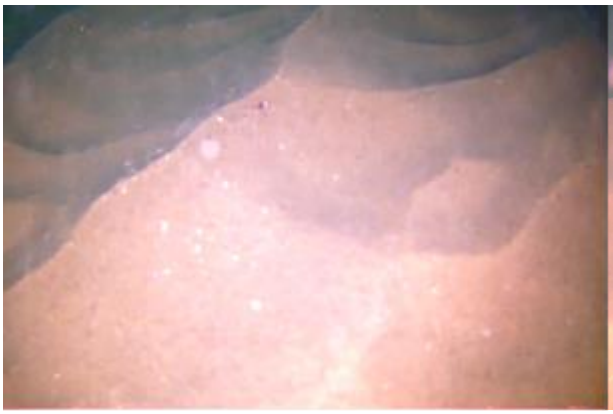


Imagen representativa de la G20

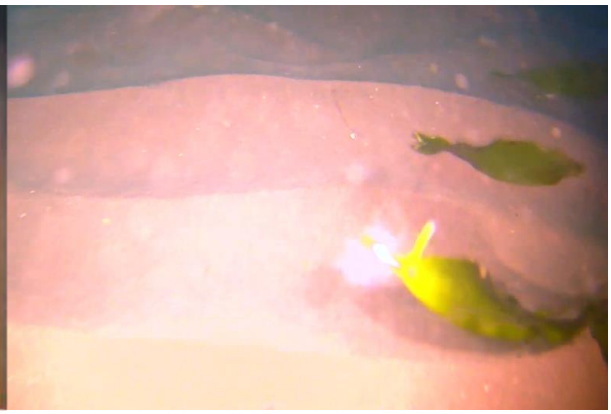


Imagen representativa de la G21

Imagen representativa de la F20, D20, C20, E20

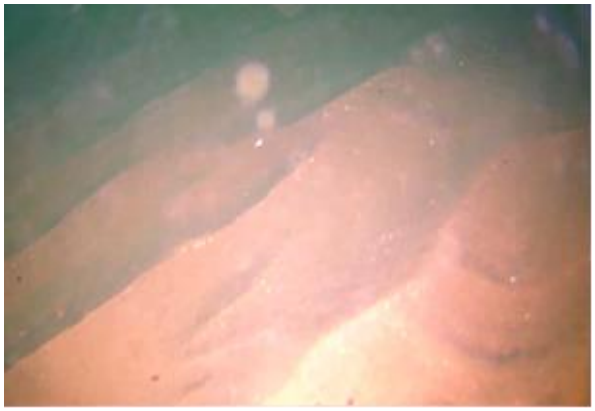


Imagen representativa de la F21

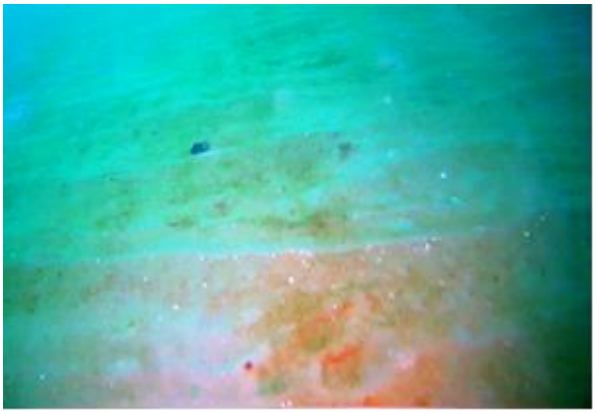


Imagen representativa de la F22

Imagen representativa de la D22

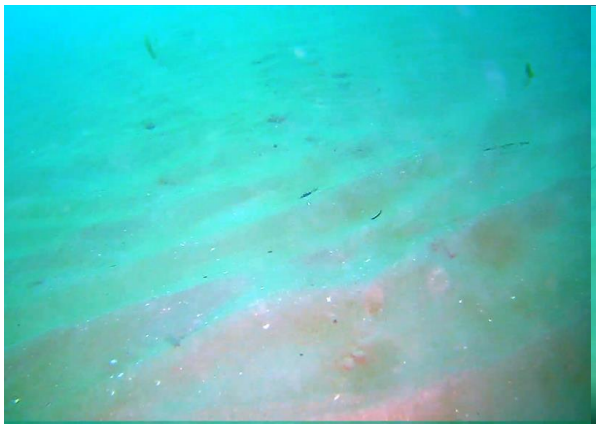


Imagen rerpresentativa de la B22

Imagen representativa de la B23

Imagen representativa de la D23

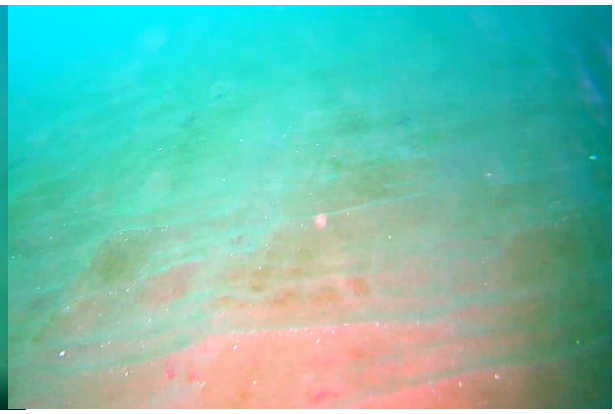


Imagen representativa de la F23.

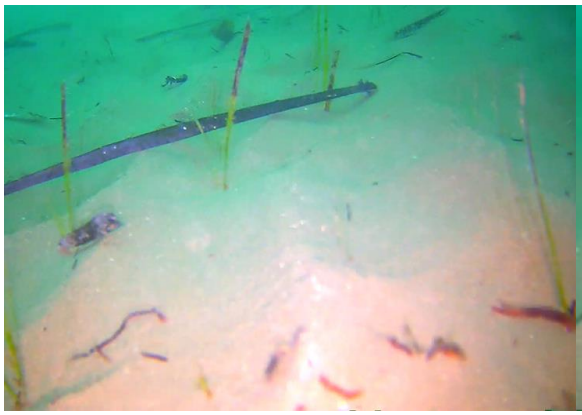


Imagen representativa de la G24

Imagen representativa de la G25

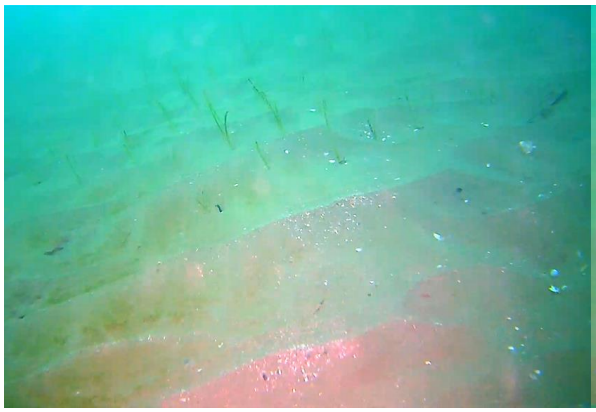


Imagen representativa de la F25

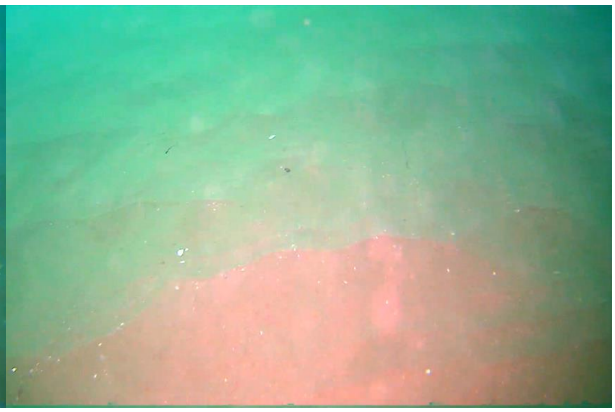


Imagen representativa de la D25

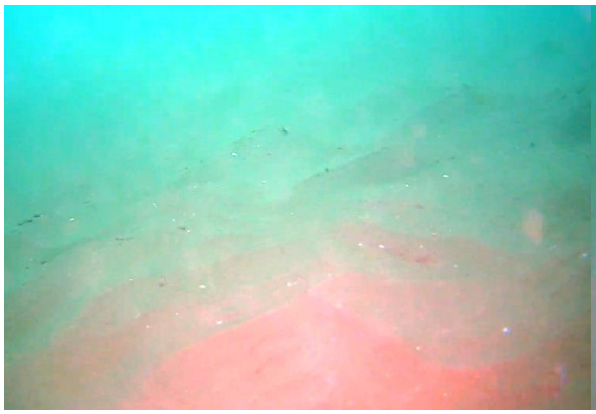


Imagen representativa de la B25

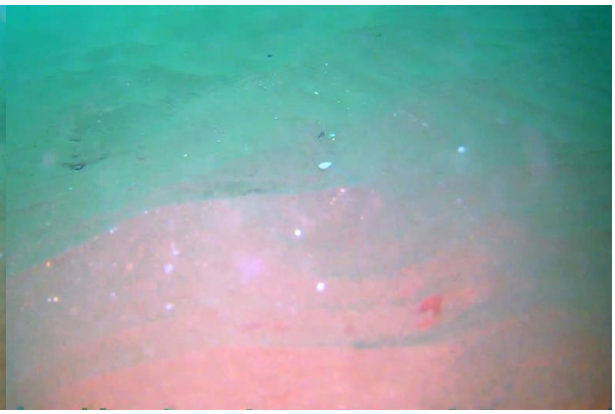


Imagen representativa de la G23

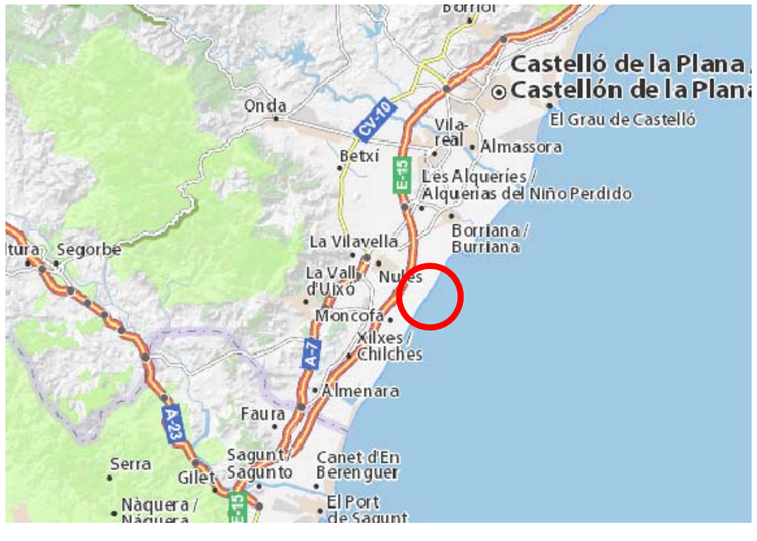
N
FARO
B25
D25
B24
F25
D24
G25
B23
F24
D23
G24
B22
F23
D22
G23
B21
F22
D21
G22
B20
F21
C20
D20
G21
B19
F20
C19
D19
G20
B18
F19
D18
G19
B17
F18
D17
G18
B16
F17
D16
G17
A15
B15
F16
C15
D15
G16
A13
B13
E15
F15
C13
E14
D13
G15
B12
E13
F13
D12
G13
B11
F12
D11
G12
B10
F11
D10
G11
A9
B9
C9
F10
A8
B8
D9
G10
C8
B7
D8
F9
D7
G9
B6
F7
D6
G7
B5
F6
A4
D5
G6
B4
C4
F5
A2
D4
E4
G5
B2
C2
F4
D2
E3
G4
B1
E2
F2
D1
G2
F1
G1
1053 m
290 m
50 m
50 m
(747.000,4.411.500)
Estructuras
Punto fotografía submarina

DOCUMENTO Nº 2: PLANOS.

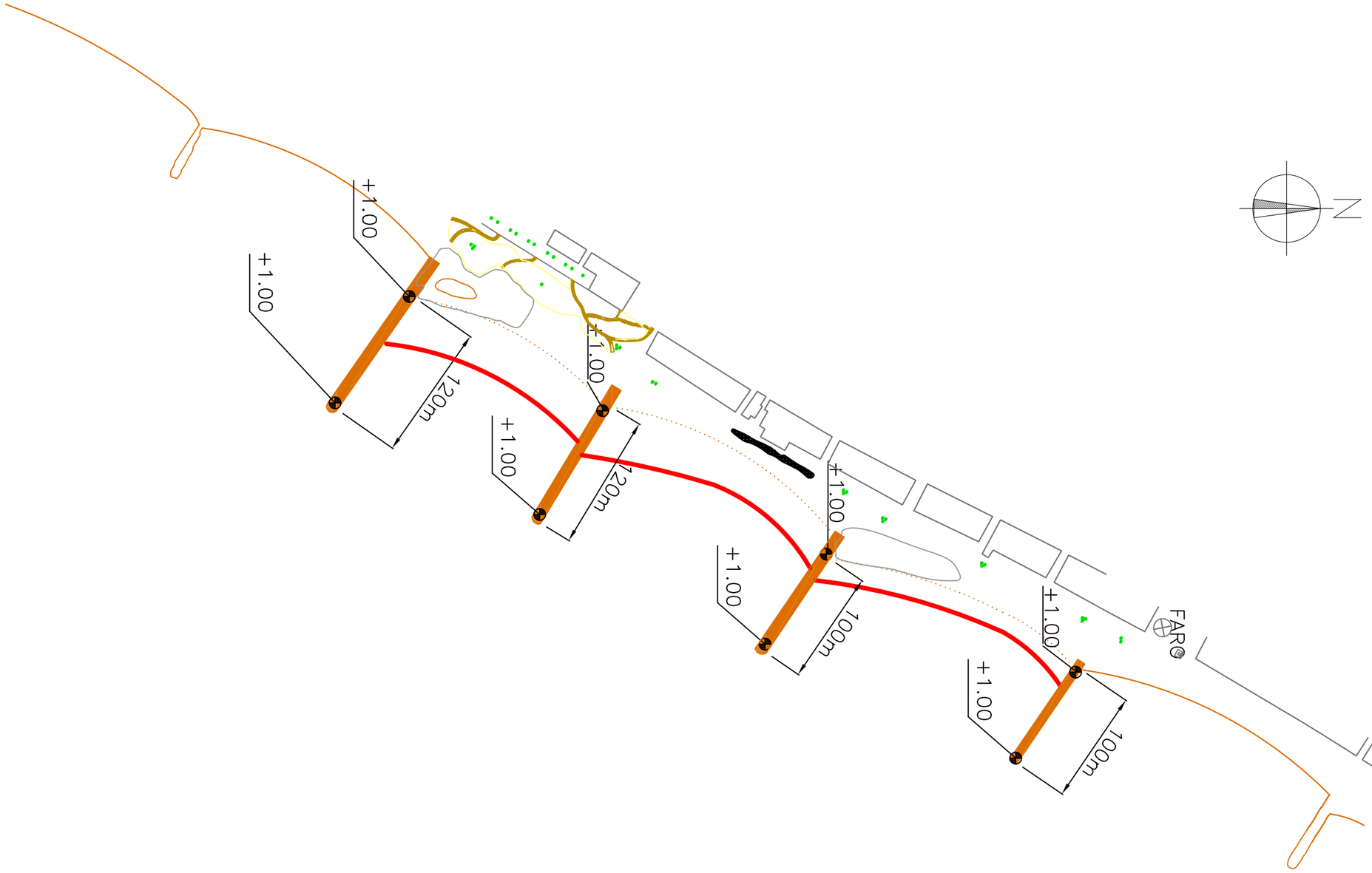
SITUACIÓN

ZONA DE ACTUACIÓN

EMPLAZAMIENTO



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA	SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y DEL MAR SERVICIO PROVINCIAL DE COSTAS EN CASTELLÓN
PROYECTO BÁSICO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TRAMO DE COSTA DE LES MARINES EN EL T.M. DE NULES (CASTELLÓN)"	Exp.: – Rfa.: – ESCALA: S/E
TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	PLANO: 1
EL JEFE DEL SERVICIO DE PROYECTOS Y OBRAS LEONARDO MONZONIS FORNER	POR LA UTE: LES MARINES 85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205) MIGUEL PUERTA LOPEZ-GUZMAN Firmado digitalmente por 85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205) Nombre de reconocimiento (DN): 2.5.4.13=Reg:46030 / Hoja:V-94925 /Tomo:7714 /Folio:218 /Fecha:04/01/2011 / Inscripción:5, serialNumber=IDCES-85088858J, givenName=FRANCISCA ANTONIA, sn=BERENGUER ALBERO, cn=85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER ALBERO Fecha: 2019.07.29 13:53:17 +02'00'	FECHA: Junio 2019



Estructuras

Línea costa

D_{50} 5 mm

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y DEL MAR

SERVICIO PROVINCIAL DE COSTAS EN CASTELLÓN

PROYECTO BÁSICO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TRAMO DE COSTA DE LES MARINES EN EL T.M. DE NULES (CASTELLÓN)"

Exp.: –

Rfa.: –

ESCALA: 1/400

TÍTULO DEL PLANO: PLANTA GENERAL

PLANO: 2

FECHA: Junio 2019

EL JEFE DEL SERVICIO DE PROYECTOS Y OBRAS

LEONARDO MONZONIS FORNER

POR LA UTE: LES MARINES

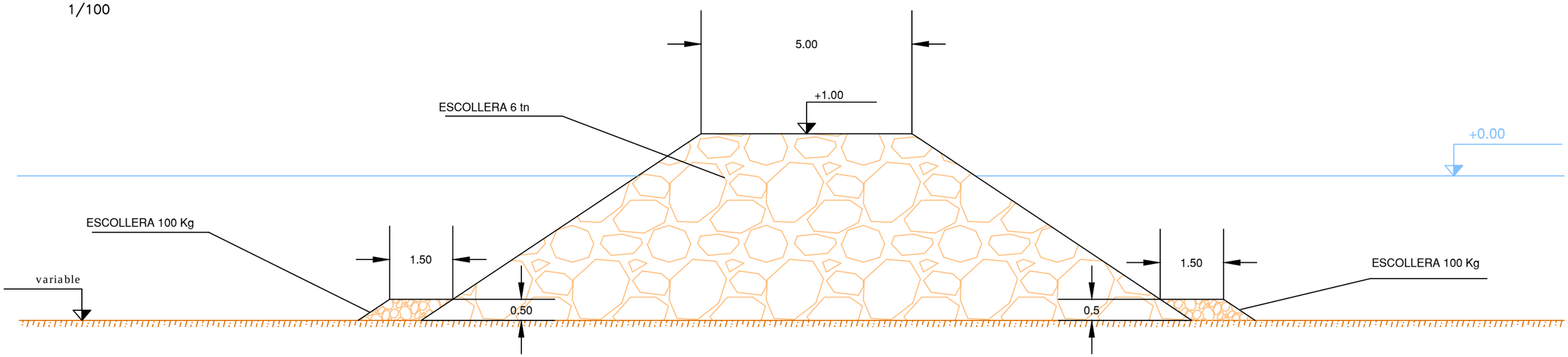
MIGUEL PUERTA LOPEZ-GUZMAN

FRANCISCA BERENGUER ALBERO

85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)

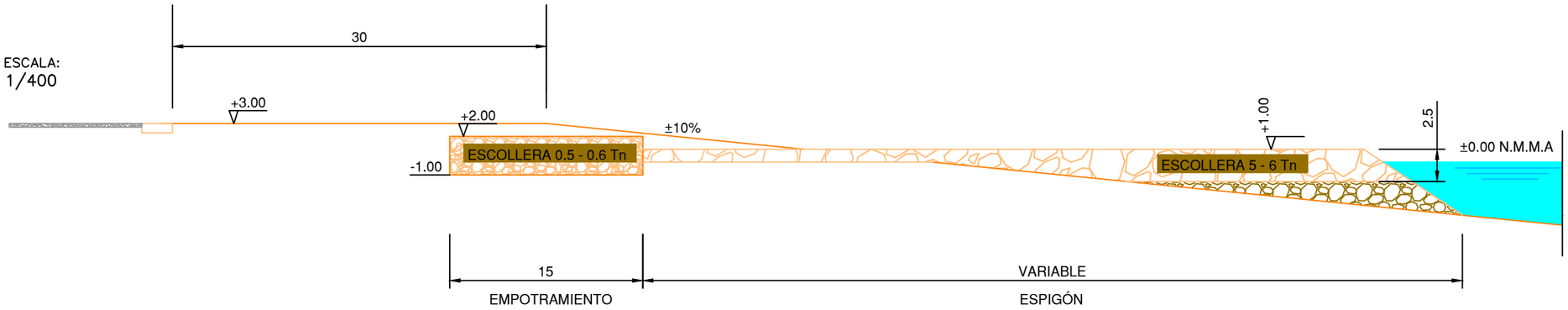
85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)
Nombre de reconocimiento (DN): 2.5.4.13=Reg:46030 / Hoja:V-94925 /Tomo:7714 /Folio:218 /Fecha:04/01/2011 / Inscripción:5, serialNumber=IDCES-85088858J, givenName=FRANCISCA ANTONIA, sn=BERENGUER ALBERO, cn=85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205), 2.5.4.97=VATES-B97428205

ESCALA:
1/100



SECCIÓN TRANSVERSAL

ESCALA:
1/400



SECCIÓN LONGITUDINAL

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE
DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y DEL MAR
SERVICIO PROVINCIAL DE COSTAS EN CASTELLÓN

PROYECTO BÁSICO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TRAMO DE COSTA DE LES MARINES EN EL T.M. DE NULES (CASTELLÓN)"

Exp.
–
Rfa.
–
ESCALA:
INDICADAS

TÍTULO DEL PLANO:
SECCIÓN TIPO

PLANO:
3

EL JEFE DEL SERVICIO
DE PROYECTOS Y OBRAS

LEONARDO MONZONIS FORNER

POR LA UTE:
LES MARINES

MIGUEL DE LA MAZA GUZMÁN

85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)

Firmado digitalmente por 85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)
Nombre de reconocimiento (DN): 2.5.4.13=Reg:46030 / Hoja:V-94925 /Tomo:7714 /Folio:218 /Fecha:04/01/2011 / Inscripción:5, serialNumber=IDCES-85088858J, givenName=FRANCISCA ANTONIA, sn=BERENGUER ALBERO, cn=85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205), Fecha: 2019/07/23 13:54:00 +02'00'

FRANCISCA BERENGUER ALBERO

FECHA:
Junio 2019

DOCUMENTO Nº 3: PRESUPUESTO.

1.- MEDICIONES.

Comentario			P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
1.1 RCE004	**M3**	**Escollera de peso comprendido entre 5 y 6 t en formación de espigón, procedente de cantera, incluso extracción, carga, transporte hasta el punto de vertido y colocación por medios marítimos y terrestres, según planos.**						
Según mediciones auxiliares			1	10.692,000			10.692,000	
						Total M3.....:		10.692,000
1.2 n02	**m2**	**Manto de espigones o protecciones construido con escollera de tamaño adecuado, a criterio de la dirección de obra, concertada con medios marítimos y terresters, incluso clasificación y colocación.**						
			6	110,000	1,500		990,000	
			4	120,000	1,500		720,000	
						Total m2.....:		1.710,000
1.3 TUC001	**m3**	**Todouno de recebo procedente de cantera, incluido suministro a obra, transporte, y colocación.**						
			3	110,000	3,500	0,400	462,000	
			2	120,000	3,500	0,400	336,000	
						Total m3.....:		798,000

Comentario			P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
2.1 03.01	**M3**	**Grava procedente de cantera, de canto rodado D50 = 5 mm, incluyendo extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido según planos.**						
			1	76.600,000			76.600,000	
						Total M3.....:		76.600,000
2.2 03.02	**M3**	**Arena natural para la regeneración de dunas, incluso extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra, y extendido a criterio de la dirección de obra.**						
			1	15.000,000			15.000,000	
						Total M3.....:		15.000,000
2.3 n013	**m3**	**Cribado y recolocación de áridos procedentes de la misma playa, distancia del recorrido completo <6 km, incluso carga, transporte hasta el punto de vertido y extendido a criterio de la dirección de obra.**						
				60.085			60.085,000	
						Total m3.....:		60.085,000

Comentario			P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
3.1 05.02	**Ud**	**Analisis calidad aguas con la determinación de los siguientes parámetros:** **Sólidos en suspensión** **Temperatura** **Salinidad** **Carbono orgánico total** **Nitratos** **Nitrógeno Kjeldahl** **Ortofosfatos** **pH** **Transparencia** **Oxígeno disuelto** **Nitrógeno total** **Nitritos** **Fósforo total** **Clorofila a** **E. coli** **E. Intestinales**						
			6				6,000	
						Total Ud.....:		6,000
3.2 05.03	**M**	**Suministro y montaje de cortinas antiturbidez con faldón de 2 a 10 m. de profundidad, fabricadas en tejido de polipropileno reforzado con fibra de PET de alta resistencia**						
			2	110,000			220,000	
			2	40,000			80,000	
			2	80,000			160,000	
			2	50,000			100,000	
						Total M.....:		560,000
3.3 05.04	**Ud**	**Prospección mediante buzos de la zona. Se consideran 2 días de trabajo de 4 buzos biólogos y arqueólogos** **.**						
			10				10,000	
						Total Ud.....:		10,000
3.4 05.05	**Ud**	**Campaña topobatimétrica**						
			3				3,000	
						Total Ud.....:		3,000
3.5 05.06	**Ud**	**Medición turbidez**						
			25				25,000	
						Total Ud.....:		25,000

Comentario			P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
4.1 SYS	**Ud**	**Partida Alzada a justificar para el abono de las medidas de Seguridad y Salud en las obras de acuerdo con el Plan de Seguridad y Salud aprobado.**						
			1				1,000	
						Total Ud.....:		1,000

Comentario	P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
5.1 TUC001 m3 Todouno de recebo procedente de cantera, incluido suministro a obra, transporte, y colocación.						
En caminos de acceso a espigones y posterior retirada de dichos caminos	1	700,000	4,000	0,350	980,000	
Total m3.....:						980,000

Comentario			P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total
6.1 V01	**UD**	**Cartel informativo de obras según formato del ministerio, incluido diseño, maquetación, impresión, transporte, colocación, cimentación, postes, totalmente instalado.**						
			2				2,000	
							Total UD.....:	2,000
6.2 v02	**pa**	**Instalación de una boya de señalización de 5 MN de alcance luminoso con todos sus elementos: linterna marina con destellador, paneles solares, batería, cadena y muerto de fondeo, incluso colocación en obra.**						
			1				1,000	
							Total pa.....:	1,000
6.3 n001	**jo…**	**Reperfilado de celdas con tractor-cajón a criterio de la dirección de la obra.**						
			4				4,000	
							Total jorna.....:	4,000
6.4 n002	**m**	**Colocación de captadores de arena, de varas de mimbre seco, de 1.2 m de longitud, hincadas verticalmente en la playa 0.50 m como mínimo, mediante la excavación de la zanja necesaria para su hincado. Densidad = 3 kg/m. Incluye transporte, almacenamiento y colocación a criterio de la dirección de obra.**						
			258				258,000	
							Total m.....:	258,000
6.5 n003	**m2**	**Plantación de especies vegetales dunares, tales como crucianela Marítima, Elymus Farctus, Amophila Arenaria, Lotus Creticus, etc, a criterio de la Dirección de Obra, en un sistema dunar de nueva formación, a razón de 2-3 plantas por m2. Se incluye transporte, almacenamiento, plantación y primer riego, a criterio de la Dirección de la obra.**						
			885				885,000	
							Total m2.....:	885,000
6.6 N300	**UD**	**Reportaje fotográfico aéreo georreferenciado entregado en soporte informático compatible con dwg y con GIS, así como en soporte papel.**						
			2				2,000	
							Total UD.....:	2,000

2.- PRESUPUESTO.

Presupuesto parcial nº 1 ESPIGONES

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
1.1	RCE004	M3	Escollera de peso comprendido entre 5 y 6 t en formación de espigón, procedente de cantera, incluso extracción, carga, transporte hasta el punto de vertido y colocación por medios marítimos y terrestres, según planos.	10.692,000	20,00	213.840,00
1.2	n02	m2	Manto de espigones o protecciones construido con escollera de tamaño adecuado, a criterio de la dirección de obra, concertada con medios marítimos y terresters, incluso clasificación y colocación.	1.710,000	12,00	20.520,00
1.3	TUC001	m3	Todouno de recebo procedente de cantera, incluido suministro a obra, transporte, y colocación.	798,000	3,62	2.888,76
			Total presupuesto parcial nº 1 ESPIGONES :			**237.248,76**

Presupuesto parcial nº 2 VERTIDO DE MATERIAL DE APORTACIÓN A LA PLAYA

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
2.1	03.01	M3	Grava procedente de cantera, de canto rodado D50 = 5 mm, incluyendo extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra y extendido según planos.	76.600,000	22,00	1.685.200,00
2.2	03.02	M3	Arena natural para la regeneración de dunas, incluso extracción, cribado, lavado, carga, transporte hasta el punto de vertido en obra, y extendido a criterio de la dirección de obra.	15.000,000	6,00	90.000,00
2.3	n013	m3	Cribado y recolocación de áridos procedentes de la misma playa, distancia del recorrido completo <6 km, incluso carga, transporte hasta el punto de vertido y extendido a criterio de la dirección de obra.	60.085,000	4,00	240.340,00
Total presupuesto parcial nº 2 VERTIDO DE MATERIAL DE APORTACIÓN A LA PL…						**2.015.540,00**

Presupuesto parcial nº 3 MEDIDAS CORRECTORAS Y VIGILANCIA AMBIENTAL

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
3.1	05.02	Ud	Analisis calidad aguas con la determinación de los siguientes parámetros: Sólidos en suspensión Temperatura Salinidad Carbono orgánico total Nitratos Nitrógeno Kjeldahl Ortofosfatos pH Transparencia Oxígeno disuelto Nitrógeno total Nitritos Fósforo total Clorofila a E. coli E. Intestinales	6,000	968,87	5.813,22
3.2	05.03	M	Suministro y montaje de cortinas antiturbidez con faldón de 2 a 10 m. de profundidad, fabricadas en tejido de polipropileno reforzado con fibra de PET de alta resistencia	560,000	53,38	29.892,80
3.3	05.04	Ud	Prospección mediante buzos de la zona. Se consideran 2 días de trabajo de 4 buzos biólogos y arqueólogos .	10,000	2.636,80	26.368,00
3.4	05.05	Ud	Campaña topobatimétrica	3,000	3.000,00	9.000,00
3.5	05.06	Ud	Medición turbidez	25,000	160,00	4.000,00
Total presupuesto parcial nº 3 MEDIDAS CORRECTORAS Y VIGILANCIA AMBIENT…						**75.074,02**

Presupuesto parcial nº 4 SEGURIDAD Y SALUD

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
4.1	SYS	Ud	Partida Alzada a justificar para el abono de las medidas de Seguridad y Salud en las obras de acuerdo con el Plan de Seguridad y Salud aprobado.	1,000	38.000,00	38.000,00
			Total presupuesto parcial nº 4 SEGURIDAD Y SALUD :			**38.000,00**

Presupuesto parcial nº 5 GESTIÓN DE RESIDUOS

Num.	Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
5.1	TUC001	m3	Todouno de recebo procedente de cantera, incluido suministro a obra, transporte, y colocación.	980,000	3,62	3.547,60
			Total presupuesto parcial nº 5 GESTIÓN DE RESIDUOS :			**3.547,60**

Presupuesto parcial nº 6 VARIOS

Num. Código	Ud	Denominación	Cantidad	Precio (€)	Total (€)
6.1 V01	UD	Cartel informativo de obras según formato del ministerio, incluido diseño, maquetación, impresión, transporte, colocación, cimentación, postes, totalmente instalado.	2,000	1.204,83	2.409,66
6.2 v02	pa	Instalación de una boya de señalización de 5 MN de alcance luminoso con todos sus elementos: linterna marina con destellador, paneles solares, batería, cadena y muerto de fondeo, incluso colocación en obra.	1,000	12.500,38	12.500,38
6.3 n001	jorna	Reperfilado de celdas con tractor-cajón a criterio de la dirección de la obra.	4,000	357,99	1.431,96
6.4 n002	m	Colocación de captadores de arena, de varas de mimbre seco, de 1.2 m de longitud, hincadas verticalmente en la playa 0.50 m como mínimo, mediante la excavación de la zanja necesaria para su hincado. Densidad = 3 kg/m. Incluye transporte, almacenamiento y colocación a criterio de la dirección de obra.	258,000	5,80	1.496,40
6.5 n003	m2	Plantación de especies vegetales dunares, tales como crucianela Marítima, Elymus Farctus, Amophila Arenaria, Lotus Creticus, etc, a criterio de la Dirección de Obra, en un sistema dunar de nueva formación, a razón de 2-3 plantas por m2. Se incluye transporte, almacenamiento, plantación y primer riego, a criterio de la Dirección de la obra.	885,000	4,80	4.248,00
6.6 N300	UD	Reportaje fotográfico aéreo georreferenciado entregado en soporte informático compatible con dwg y con GIS, así como en soporte papel.	2,000	500,00	1.000,00
		Total presupuesto parcial nº 6 VARIOS :			**23.086,40**

Presupuesto de ejecución material

	Importe (€)
1 ESPIGONES	237.248,76
2 VERTIDO DE MATERIAL DE APORTACIÓN A LA PLAYA	2.015.540,00
3 MEDIDAS CORRECTORAS Y VIGILANCIA AMBIENTAL	75.074,02
4 SEGURIDAD Y SALUD	38.000,00
5 GESTIÓN DE RESIDUOS	3.547,60
6 VARIOS	23.086,40
Total	2.392.496,78

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de DOS MILLONES TRESCIENTOS NOVENTA Y DOS MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

Castellón de la Plana, Junio de 2019
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe del Servicio Provincial de Proyectos y Obras.

Leonardo Monzonís Forner

Miguel Puerta Francisca Berenguer

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
TECNOMEDITERRÁNEA, S.L.

Visto Bueno,

Fernando Pérez Burgos.

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe del Servicio Provincial en Castellón.

Capítulo	Importe
ESPIGONES	237.248,76 €
VERTIDO DE MATERIAL DE APORTACIÓN A LA PLAYA	2.015.540,00 €
MEDIDAS CORRECTORAS Y VIGILANCIA AMBIENTAL	75.074,02 €
SEGURIDAD Y SALUD	38.000,00 €
GESTIÓN DE RESIDUOS	3.547,60 €
VARIOS	23.086,40 €
Presupuesto de ejecución material PEM	**2.392.496,78 €**
13% Gastos generales	311.024,58 €
6 % beneficio industrial	143.549,81 €
Suma	2.847.071,17 €
I.V.A. (21 %)	597.884,95 €
Presupuesto de licitación	**3.444.956,11 €**

Asciende el Presupuesto de Licitación a la expresada cantidad de TRES MILLONES, CUATROCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL, NOVECIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL EUROS CON ONCE CÉNTIMOS.

Castellón de la Plana, junio de 2019.

Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos

85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)

Firmado digitalmente por 85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205)
Nombre de reconocimiento (DN): 2.5.4.13=Reg:46030 /Hoja:V-94925 / Tomo:7714 /Folio:218 /Fecha:04/01/2011 /Inscripción:5, serialNumber=IDCES-85088858J, givenName=FRANCISCA ANTONIA, sn=BERENGUER ALBERO, cn=85088858J FRANCISCA ANTONIA BERENGUER (R: B97428205), 2.5.4.97=VATES-B97428205, o=TECNOMEDITERRANEA SL, c=ES
Fecha: 2019.07.29 13:54:41 +02'00'

Francisca Berenguer Albero

El Director del Contrato:

Leonardo Monzonís Forner.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe del Servicio Provincial de Proyectos y Obras.

Visto Bueno,

Fernando Pérez Burgos.
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe del Servicio Provincial en Castellón.